



TUGAS AKHIR - MO 091336

ANALISA VARIASI MUSIMAN TINGGI GELOMBANG LAUT SECARA GLOBAL SELAMA PERIODE 1984- 2003

NORMALITA SARI
NRP 4310 100 025

Dosen Pembimbing

1. Dr. Eng. Muhammad Zikra, S.T., M.Sc
2. Suntoyo, S.T., M. Eng, Ph.D

JURUSAN TEKNIK KELAUTAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA
2014



FINAL PROJECT - MO 091336

SEASONAL VARIATION ANALYSIS OF SEA WAVE HEIGHT IN GLOBAL DURING THE PERIOD 1894- 2003

NORMALITA SARI
REG 4310 100 025

Supervisors

1. Dr. Eng. Muhammad Zikra, S.T., M.Sc
2. Suntoyo, S.T., M. Eng, Ph.D

DEPARTEMENT OF OCEAN ENGINEERING

Faculty Of Marine Engineering

Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

2014

**ANALISA VARIASI MUSIMAN TINGGI GELOMBANG LAUT
SECARA GLOBAL SELAMA PERIODE 1984-2003**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat

Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

pada

Program Studi S-1 Jurusan Teknik Kelautan

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

NORMALITA SARI

NRP 4310 100 025

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

1. Dr. Eng. Muhammad Zikra, S.T., M.Sc.....(Pembimbing 1)
2. Suntoyo, S.T., M.Eng, Ph.D.....(Pembimbing 2)



SURABAYA, AGUSTUS 2014

ANALISA VARIASI MUSIMAN TINGGI GELOMBANG LAUT SECARA GLOBAL SELAMA PERIODE 1984-2003

Nama Mahasiswa : Normalita Sari
NRP : 4310 100 025
Jurusan : Teknik Kelautan FTK-ITS
Dosen Pembimbing : Dr. Eng. M. Zikra, ST, M.Sc
Suntoyo, ST, M.Eng, Ph.D

ABSTRAK

Pemasaran global dan perubahan iklim secara langsung dapat mempengaruhi keadaan lingkungan, terutama di lautan. Gelombang tinggi yang terjadi di laut dapat menyebabkan berbagai kerusakan pantai. Maka dari itu, pendekatan klimatologi perlu dilakukan dengan menganalisa tinggi gelombang yang pernah terjadi. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui sebaran tinggi gelombang laut secara global yang dibagi menurut musim dengan menggunakan data hasil hindcasting dari pemodelan numerik WAM selama periode 20 tahun, dari tahun 1984 sampai 2003. Hasil yang diperoleh dari penelitian ini berupa peta distribusi rata-rata tinggi gelombang signifikan (H_s) yang dibagi menurut empat musim yang terjadi di dunia selama 20 tahun. Rata-rata tinggi gelombang pada bulan Januari-Februari-Maret dan bulan Oktober-November-Desember cenderung tinggi di bagian bumi dengan koordinat latitude 0° - 90° dan longitude 0° - 360° . Sedangkan di koordinat latitude -0° - (-90°) dan longitude 0° - 360° cenderung memiliki H_s yang tinggi sepanjang tahun. Rata-rata tinggi gelombang di beberapa lokasi secara global mengalami perubahan selama 20 tahun. Pada laut bagian selatan bumi, trend rata-rata tinggi gelombang signifikan cenderung meningkat. Sedangkan pada bagian utara bumi, seperti samudera Pasifik utara dan samudera Atlantik utara memiliki trend tinggi gelombang yang cenderung turun dari tahun 1984 hingga 2003. Trend kenaikan dan penurunan yang terjadi tidak begitu signifikan.

Kata Kunci : Tinggi gelombang signifikan, WAM, musim, perubahan iklim, *trend*.

SEASONAL VARIATION ANALYSIS OF SEA WAVE HEIGHT IN GLOBAL DURING THE PERIOD 1984-2003

Student Name : Normalita Sari
Reg. Number : 4310 100 025
Departement : Ocean Engineering, Faculty of Marine Tech.,ITS
Supervisors : Dr. Eng. M. Zikra, ST, M.Sc
Suntoyo, S.T., M.Eng, Ph.D

ABSTRACT

Global warming and climate change could affect the environment, especially in the ocean. Wave height that occur in the ocean can cause a variety of damage to the beach. Therefore, the approach needs to be done to analyze the climatological wave height that ever happened. This study was conducted to determine the spread of global sea wave height divided by season, using hindcasting results data from WAM numerical modeling over a period of 20 years, from 1984 until 2003. Results obtained from this study purports to map of the distribution of average significant wave height (Hs) are divided by the four seasons that occur in the world for 20 years. The average wave height in January-February-March and the month of October-November-December likely high in the earth with coordinates of 0°-90° latitude and 0°-360° longitude. Whereas in the coordinate -0°-(-90°) latitude and longitude 0°-360° tend to have high average of Hs throughout the year. The average wave height at various locations globally has changed for 20 years. In the southern part of the earth, the trend of average significant wave height tends to increase. Whereas in the northern part of the earth, such as the deep north Pacific and north Atlantic ocean has a Hs trend that tends to decrease from 1984 to 2003.

Keywords: significant wave height, WAM, season, climate change, trend.

KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirabbil'alamin. Puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat, hidayah serta ridho-Nya sehingga penulis bisa menyelesaikan tugas akhir yang berjudul “Analisa Variasi Musiman Tinggi Gelombang Secara Global Selama Periode 1984-2003” ini dengan sebaik-baiknya.

Secara umum, tugas akhir ini membahas tentang variasi musiman tinggi gelombang laut secara global menggunakan WAM model dan kecenderungan (*trend*) tinggi gelombang laut yang terjadi selama periode 1984-2003. Di dalam tugas akhir ini nantinya akan banyak disajikan peta sebaran tinggi gelombang laut dan grafik *trend* yang disertai dengan analisisnya.

Penulis menyadari bahwa masih ada kekurangan dalam penulisan tugas akhir ini. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan. Semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi pembaca.

Surabaya, Agustus 2014

Penulis

DAFTAR ISI

| | |
|--|------|
| HALAMAN JUDUL..... | i |
| LEMBAR PENGESAHAN..... | v |
| ABSTRAK..... | vii |
| ABSTRACT..... | ix |
| KATA PENGANTAR..... | xi |
| UCAPAN TERIMA KASIH..... | xiii |
| DAFTAR ISI..... | xv |
| DAFTAR GAMBAR..... | xvii |
| DAFTAR TABEL..... | xix |
| DAFTAR NOTASI..... | xxi |
| BAB I PENDAHULUAN | |
| 1.1 Latar Belakang..... | 1 |
| 1.2 Perumusan Masalah..... | 3 |
| 1.3 Tujuan..... | 3 |
| 1.4 Manfaat..... | 3 |
| 1.5 Batasan Masalah..... | 4 |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI | |
| 2.1 Tinjauan Pustaka..... | 5 |
| 2.2 Dasar Teori..... | 6 |
| 2.2.1 Perubahan Iklim..... | 6 |
| 2.2.2 Pembangkitan Gelombang..... | 7 |
| 2.2.3 Pengolahan Data Secara Statistik..... | 9 |
| 2.2.3.1 Ukuran Pemusatan Data..... | 9 |
| 2.2.3.2 Regresi Linear Sederhana..... | 11 |
| 2.2.4 <i>Global Circular Model</i> (GCM) | 13 |
| 2.2.5 Pemodelan Numerik..... | 14 |
| 2.2.7 Pemodelan Gelombang (WAM Model)..... | 15 |
| BAB III METODOLOGI PENELITIAN | |
| 3.1 Metodologi Penelitian..... | 19 |
| 3.2 Prosedur Penelitian..... | 20 |

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

| | |
|---|----|
| 4.1 Variasi Tinggi Gelombang Signifikan (Hs) Selama 1984-2003..... | 27 |
| 4.1.2 Rata-rata Hs pada Bulan Januari, Februari dan Maret..... | 28 |
| 4.1.3 Rata-rata Hs pada Bulan April, Mei dan Juni..... | 29 |
| 4.1.4 Rata-rata Hs pada Bulan Juli, Agustus dan September..... | 30 |
| 4.1.5 Rata-rata Hs pada Bulan Oktober, November dan Desember..... | 31 |
| 4.1.6 Rata-rata Hs Perbulan Selama 20 Tahun..... | 33 |
| 4.2 Kecenderungan (<i>Trend</i>) Tingkat Kenaikan dan Penurunan Hs Selama Periode 1984-2003..... | 35 |
| 4.2.1 Trend Rata-rata Hs Per tahun Selama 1984-2003..... | 35 |
| 4.2.2 Trend Hs Per bulan Selama 1984-2003 di sekitar perairan Indonesia..... | 41 |

BAB V PENUTUP

| | |
|----------------------|----|
| 5.1 Kesimpulan..... | 47 |
| 5.2 Saran..... | 47 |
| DAFTAR PUSTAKA | 48 |

LAMPIRAN

BIODATA PENULIS

DAFTAR GAMBAR

| | |
|--|----|
| Gambar 1.1 Perubahan muka air laut secara global..... | 1 |
| Gambar 1.2 Kerusakan pantai di Bali..... | 2 |
| Gambar 2.1 Efek Rumah Kaca..... | 6 |
| Gambar 2.2 Suhu rata-rata global..... | 7 |
| Gambar 2.3 Mekanisme pembentukan gelombang oleh angin..... | 8 |
| Gambar 2.4 Klasifikasi gelombang laut berdasarkan periode..... | 9 |
| Gambar 2.5 Beberapa bentuk diagram pencar..... | 12 |
| Gambar 2.6 Garis regresi linier pada diagram pencar..... | 13 |
| Gambar 2.7 <i>Kakushin ProgramTime Slice Experiment</i> | 14 |
| Gambar 3.1 Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir..... | 19 |
| Gambar 3.2 Input data angin pada tahun 1984..... | 21 |
| Gambar 3.3 Input file baimetri..... | 21 |
| Gambar 3.4 fcl.bat..... | 21 |
| Gambar 3.5 Program prepoc_L.f..... | 22 |
| Gambar 3.6 Program preset_L.f..... | 22 |
| Gambar 3.7 Program wamodel_L.f..... | 23 |
| Gambar 3.8 Program make_date.for..... | 24 |
| Gambar 3.9 Program wantosurfnew.for..... | 24 |
| Gambar 3.10 Program getdataavemax2.m..... | 25 |
| Gambar 3.11 Program basemap_plotresult_monthly_average.m..... | 26 |
| Gambar 4.1 Peta rata-rata Hs pada bulan Januari, Februari dan Maret selama 20 tahun..... | 28 |
| Gambar 4.2 Peta rata-rata Hs pada bulan April, Mei dan Juni selama 20 tahun..... | 29 |
| Gambar 4.3 Peta rata-rata Hs pada bulan Juli, Agustus dan September selama 20 tahun..... | 30 |
| Gambar 4.4 Peta rata-rata Hs pada bulan Oktober, November dan Desember selama 20 tahun..... | 31 |
| Gambar 4.5 Pola Sirkulasi Angin Global..... | 32 |
| Gambar 4.6 Peta Rata-rata Hs Perbulan Selama 1984-2003..... | 33 |

| | |
|---|----|
| Gambar 4.7 West Gamma <i>Jack Up</i> | 34 |
| Gambar 4.8 Peta pengambilan titik-titik yang akan dianalisa..... | 36 |
| Gambar 4.9 Grafik trend rata-rata Hs di utara Kepulauan Natuna, Laut Cina Selatan..... | 37 |
| Gambar 4.10 Grafik Trend Hs di Laut Cina Selatan, longitude 110°, latitude 5° pada bulan Januari..... | 41 |
| Gambar 4.11 Grafik Trend Hs di Samudera Hindia, longitude 90°, latitude 5° pada bulan Januari..... | 42 |
| Gambar 4.12 Grafik Trend Hs di Samudera Pasifik, Longitude 140°, latitude 5° pada bulan Januari..... | 42 |
| Gambar 4.13 Grafik Trend Hs di Samudera Hindia, longitude 110°, latitude -10° pada bulan Januari..... | 43 |

DAFTAR TABEL

| | |
|--|----|
| Tabel 4.1 Titik koordinat yang akan dianalisa..... | 35 |
| Tabel 4.2 Trend tingkat kenaikan dan penurunan rata-rata Hs..... | 40 |
| Tabel 4.3 Trend Hs bulanan di sekitar perairan Indonesia..... | 45 |

DAFTAR NOTASI

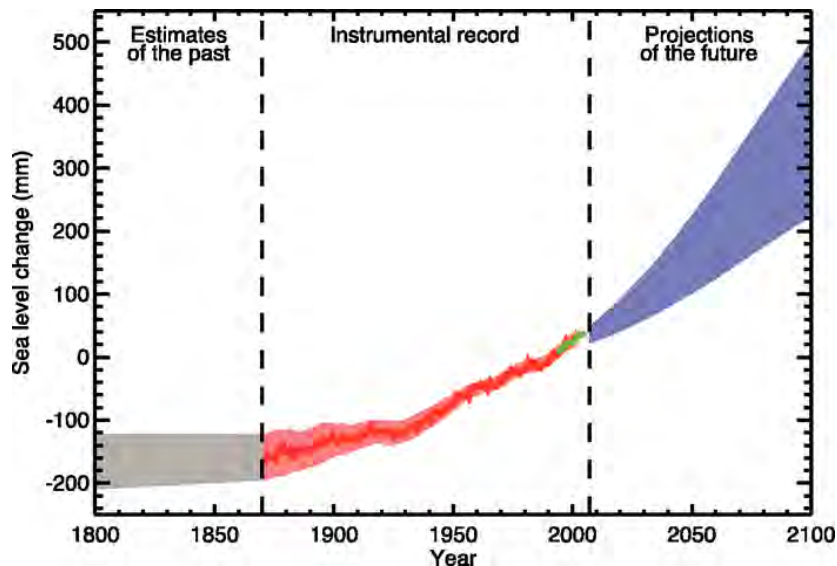
| | |
|---------------------------------------|--|
| $x_{(1)}$ | = Data terkecil |
| $x_{(n)}$ | = Data terbesar |
| $x_{(k)}$ | = Data terkecil ke-k dari data setelah tertata (untuk $k = 1, 2, \dots, n$) |
| y | = nilai <i>estimate</i> variabel terikat |
| a | = titik potong garis regresi pada sumbu y |
| b | = gradien garis regresi |
| x | = nilai variabel bebas |
| x_i | = nilai x ke- i |
| y_i | = nilai y ke- i |
| $F(\phi, \lambda, \theta, \sigma, t)$ | = spektrum energi gelombang |
| ϕ | = garis bujur |
| λ | = garis lintang |
| θ | = arah gelombang |
| t | = waktu |
| σ | = frekuensi relatif |
| S_{tot} | = Sumber energi |
| S_{in} | = interaksi angin gelombang (<i>wind wave interaction</i>) |
| S_{nl} | = interaksi nonlinear antar gelombang (<i>nonlinear wave-wave interaction</i>) |
| S_{dis} | = disipasi gelombang (<i>wave dissipation</i>) |

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Populasi manusia di dunia selalu bertambah seiring dengan berjalannya waktu. Aktivitas manusia, termasuk aktivitas industri, juga semakin digiatkan guna memenuhi kebutuhan mereka. Aktivitas industri yang menggunakan bahan bakar minyak menghasilkan emisi gas CO₂ dan mengakibatkan fenomena Efek Rumah Kaca (ERK) atau pemanasan global pada bumi. Suhu permukaan bumi yang mengalami kenaikan akibat pemanasan global akan mengakibatkan perubahan iklim dunia. Menurut catatan *International Panel of Climate Change* (2007), perubahan iklim memiliki banyak efek negatif, beberapa diantaranya meningkatkan intensitas badai, banjir dan kekeringan, serta kenaikan muka air laut.



Gambar 1.1 Perubahan muka air laut secara global (IPCC, 2007)

Menurut Eichelberger (2008), perubahan iklim diketahui dapat meningkatkan rata-rata kecepatan hembusan angin secara global. Pergerakan angin yang dapat mempengaruhi pembangkitan gelombang dipengaruhi oleh keadaan iklim dan musim di suatu wilayah. Apabila kecepatan hembusan

angin meningkat, otomatis gelombang yang timbul akan lebih besar. Gelombang tinggi yang terjadi di laut dapat menyebabkan berbagai kerusakan pantai. Berdasarkan survei yang dilakukan oleh Direktorat Jenderal Sumber Daya Air (Ditjen SDA), Kementrian Pekerjaan Umum (PU) pada tahun 2007, seperti yang dilaporkan Antara News, sekitar 19.000 km garis pantai di Indonesia mengalami kerusakan akibat abrasi dan erosi. Contohnya, panjang garis Pantai Bali adalah 436,5 km sedangkan panjang pantai telah mengalami abrasi adalah sepanjang 91,070 km atau sekitar 20,8 persen rusak.



Gambar 1.2 Kerusakan pantai di Bali (Syafputri, 2012)

Perubahan iklim global adalah aspek yang harus dipertimbangkan dalam bidang teknologi kelautan karena gelombang merupakan salah satu faktor yang sangat berperan dalam berbagai aplikasi kelautan misalnya desain stuktur bangunan lepas pantai, desain bangunan pantai, desain kapal, dan sebagainya. Oleh karena itu, pendekatan klimatologi perlu dilakukan dengan menganalisa tinggi gelombang yang pernah terjadi. Berkaitan dengan hal tersebut, Fitriah (2013) telah mempelajari perilaku rata-rata tahunan tinggi gelombang laut dengan metode *hindcasting*. Dari hasil penelitian tersebut, diperoleh kesimpulan bahwa data gelombang yang dihasilkan dari model WAM menunjukkan tingkat keakurasian yang cukup baik dengan data pengukuran *buoy*.

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui perilaku tinggi gelombang laut secara global yang dibagi menurut musim dengan menggunakan WAM (*Wave Model*) sebagai pemodelannya. Analisa data yang digunakan adalah data angin yang berasal dari lembaga MRI-JMA (*Meteorology Research Institute/Japan Meteorology Institute*) dan data batimetri yang berasal dari NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*).

1.2 Perumusan Masalah

1. Bagaimana variasi musiman tinggi gelombang laut berdasarkan data *hindcasting* selama 20 tahun, dari tahun 1984 sampai 2003?
2. Bagaimana kecenderungan (*trend*) tingkat kenaikan atau penurunan tinggi gelombang laut berdasarkan data *hindcasting* selama 20 tahun, dari tahun 1984 sampai 2003?

1.3 Tujuan

1. Mengetahui variasi musiman tinggi gelombang laut berdasarkan data *hindcasting* selama 20 tahun, dari tahun 1984 sampai 2003.
2. Mengetahui kecenderungan (*trend*) tingkat kenaikan atau penurunan tinggi gelombang laut berdasarkan data *hindcasting* selama 20 tahun, dari tahun 1984 sampai 2003.

1.4 Manfaat

1. Tugas akhir ini dapat digunakan sebagai salah satu masukan informasi bagi peneliti, praktisi maupun pemerintah dalam mendukung langkah adaptasi dan pencegahan bencana akibat perubahan iklim.
2. Tugas akhir ini dapat digunakan untuk pengembangan ilmu dan teknologi di bidang kelautan khususnya dalam permasalahan perubahan iklim gelombang akibat *global warming*.

1.5 Batasan Masalah

1. Data yang digunakan adalah data angin dari MRI-JMA (*Meteorology Research Institute/Japan Meteorology Institute*) dengan resolusi grid $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ dalam kurun waktu 1984-2003.
2. Data bathimetri yang digunakan adalah data dari ETOPO dengan resolusi grid $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ milik NOAA. Data bathimetri bersifat *stationer* atau tidak mengalami perubahan kedalaman.
3. Analisa dibagi berdasarkan kondisi musim, yaitu musim panas, musim semi, musim gugur dan musim dingin.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Pemanasan global yang ditandai dengan peristiwa kenaikan suhu rata-rata udara di dekat permukaan bumi dan lautan sejak pertengahan abad ke-20 diproyeksikan akan terus berlangsung. Naiknya temperatur atmosfer bumi menyebabkan berbagai hal, termasuk perubahan iklim dan peningkatan kecepatan angin baik di daratan maupun di lautan. Hal ini tentu berpengaruh dengan perilaku gelombang karena angin merupakan pembangkit gelombang secara umum.

Tinggi gelombang signifikan secara global mengalami peningkatan peluang kejadian dan gelombang tertinggi cenderung meningkat tiap tahunnya (Fitriah, 2013). Hemer et. al (2007) telah melakukan analisa gelombang dan hubungannya dengan perubahan iklim di wilayah Australia. Mereka menganalisa data ERA-40 dan *wave-rider buoy* yang terdapat di perairan Australia. Hasil penelitian menunjukkan bahwa rata-rata jangka panjang dan rata-rata siklus tahunan tinggi gelombang signifikan di wilayah Australia dipengaruhi oleh angin *monsoon* di utara dan angin barat di selatan. Caires dan Swail (2004) telah melakukan penelitian tentang kecenderungan musim (*seasonal trend*) dan pola variasi tinggi gelombang signifikan secara statistik dengan mengestimasi rata-rata, persentil ke-90 dan persentil ke-99 tinggi gelombang signifikan dalam kurun waktu 1984 sampai dengan 2000 menggunakan kumpulan data C-ERA40. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa belahan utara bumi memiliki kecenderungan yang tinggi selama musim dingin dan musim gugur, sedangkan laut bagian selatan memiliki kecenderungan tinggi sepanjang tahun.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Perubahan Iklim

Menurut Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika (2010), iklim adalah aspek dari cuaca di suatu tempat dan pada waktu tertentu dalam jangka waktu panjang. Iklim sangat berkaitan erat dengan musim, yaitu periode dengan unsur iklim yang mencolok, misalnya dalam musim panas maka unsur iklim yang mencolok adalah suhu udara yang tinggi (Tjasjono, 1999).

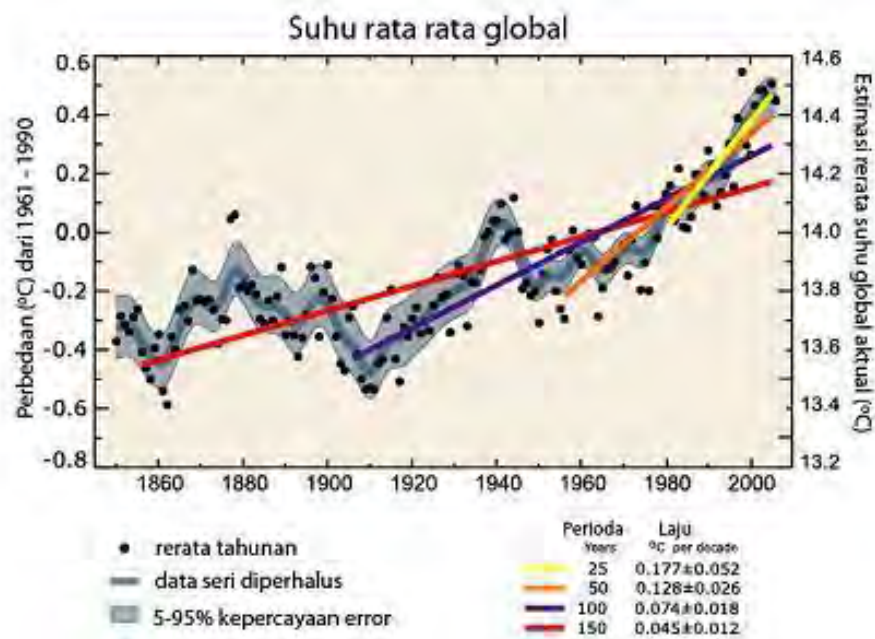
Iklim cenderung berubah akibat berbagai peristiwa yang terjadi di permukaan bumi, baik akibat aktivitas alam seperti perubahan orbit bumi terhadap matahari, letusan gunung berapi dan peristiwa El Nino, maupun akibat kegiatan manusia. Namun penyumbang terbesar dalam fenomena perubahan iklim adalah aktivitas manusia seperti kegiatan industri maupun transportasi yang menyebabkan Efek Rumah Kaca (*Green House Effect*) seperti ilustrasi pada gambar 2.1.



Gambar 2.1 Efek Rumah Kaca

Menurut Diposaptono (2009), Apabila dalam periode waktu yang panjang kita amati data suhu dan kita lihat ada kecenderungan naik dari waktu ke waktu atau dan fluktuasinya (naik turunnya) semakin membesar atau

kejadian anomali iklim semakin sering terjadi dibanding periode waktu sebelumnya, maka dapat dikatakan perubahan iklim sudah terjadi. Perubahan iklim baru dapat diketahui setelah periode waktu yang panjang, beberapa ahli klimatologi menggunakan istilah kecenderungan iklim atau *climate trend* (Tjasjono, 1999). Naiknya suhu di atmosfer bumi secara global, baik itu di darat maupun di laut, berhubungan erat dengan perilaku pergerakan angin dunia.



Gambar 2.2 Suhu rata-rata global (IPCC, 2007)

2.2.2 Pembangkitan Gelombang

Gelombang merupakan fluktuasi muka air di laut yang memiliki bentuk sangat kompleks dan sulit digambarkan karena memiliki bentuk yang acak. Gelombang terbagi menjadi beberapa jenis tergantung pada gaya pembangkitnya. Menurut Triatmaja (2009), gelombang laut bisa dibangkitkan oleh angin (gelombang angin), gaya tarik matahari dan bulan (pasang surut), letusan gunung berapi atau gempa di laut (tsunami), kapal yang bergerak dan sebagainya.

Gelombang yang banyak ditemui adalah gelombang yang dibangkitkan oleh angin dan biasa disebut *wind waves*. Bila diatas permukaan laut berhembus angin yang berkecepatan relatif rendah maka pada air laut akan terbentuk riak-riak kecil, atau *ripple*. Riak-riak ini akan membesar menjadi gelombang kecil, jika angin terus berhembus dan kecepatannya bertambah (Djarmiko, 2012).

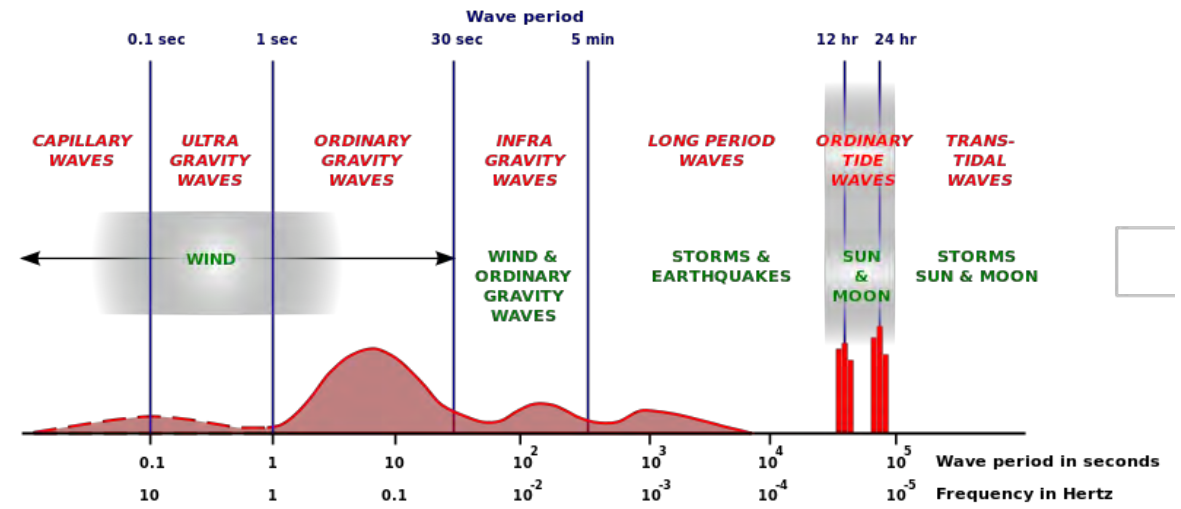


Gambar 2.3 Mekanisme pembentukan gelombang oleh angin
(Djarmiko, 2012)

Menurut Young (1999), sebagaimana dikutip oleh Djarmiko (2012), ukuran gelombang yang terbentuk oleh angin tergantung dari lima faktor, diantaranya:

- a) Kecepatan angin berhembus
- b) Jarak bentangan permukaan laut dimana angin berhembus (*fetch length*)
- c) Lebar area angin berhembus
- d) Durasi atau lamanya angin berhembus
- e) Kedalaman air

Selain dibagi berdasarkan gaya pembangkitnya, gelombang dapat dikelompokkan menurut spektrum energinya sebagai fungsi periode gelombang dan sumber pembentuknya. Pengelompokan gelombang berdasarkan spektrum dapat dilihat pada gambar 2.4 berikut ini.



Gambar 2.4 Klasifikasi gelombang laut berdasarkan periode
(Djarmiko, 2012)

Gelombang yang terbentuk oleh angin lokal mempunyai periode sampai dengan 30 detik. Gelombang kapiler dan ultra gravitasi akan terlihat sebagai riak-riak permukaan laut. Gelombang dengan periode di atas 30 detik sampai dengan 5 menit disebut sebagai gelombang infra gravitasi, yang kebanyakan berupa *swell*. Gelombang dengan periode di atas 5 menit terbentuk oleh badai besar dan gempa bumi. Berikutnya, gelombang pasang surut memiliki periode antara 12 jam sampai dengan 24 jam. Apabila gelombang pasang surut berkombinasi dengan gelombang badai maka periodenya dapat lebih panjang lagi, disebut sebagai gelombang *trans tidal*.

2.2.3 Pengolahan Data Secara Statistik

2.2.3.1 Ukuran Pemusatan Data

Menurut Harinaldi (2005), data yang dikumpulkan dalam suatu kajian statistik dapat dibedakan menjadi dua macam, yaitu data kualitatif dan data kuantitatif. Data kualitatif adalah data yang bukan berupa angka dan tidak dapat dilakukan operasi matematik. Data kuantitatif atau data numerik merupakan data yang berbentuk angka dan bisa dilakukan operasi matematika.

Data sering menunjukkan kecenderungan terpusat di sekitar suatu nilai. Nilai pusat ini kemudian digunakan sebagai suatu ukuran ringkas yang menggambarkan karakteristik umum data tersebut. Ada tiga jenis ukuran pemusatan yang dapat digunakan, yaitu mean, modus dan median (Nugroho, 2008).

a) Mean

Rata-rata atau mean adalah nilai khas yang mewakili sifat tengah, atau posisi pusat, dari suatu kumpulan nilai data. Rata-rata merupakan rasio dari total nilai pengamatan dengan banyaknya pengamatan. Rata-rata dapat dituliskan sebagai:

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (1)$$

Dimana:

$x_1, x_2 \dots x_n$ = Data x sebanyak n buah

b) Modus

Modus adalah data yang paling sering muncul dari kumpulann data (*data set*) yang diperoleh. Dari data pengamatan apabila ada satu data yang memiliki frekuensi paling banyak disebut *unimodus*, bila ada dua data yang memiliki frekuensi paling banyak disebut sebagai *bimodus*, dan seterusnya.

c) Median

Median menyatakan posisi tengah dari nilai data terjajar (*data array*). Untuk data yang belum dikelompokkan, data ini harus diurutkan terlebih dahulu dari data yang terkecil hingga data terbesar. Median dapat ditentukan dengan notasi:

$$M = \begin{cases} \frac{x_{(\frac{n}{2})} + x_{(\frac{n}{2}+1)}}{2} \\ x_{(\frac{x+1}{2})} \end{cases} \quad (2)$$

Dimana:

$x_{(1)}$ = Data terkecil

$x_{(n)}$ = Data terbesar

$x_{(k)}$ = Data terkecil ke-k dari data setelah tertata (untuk $k = 1, 2, \dots, n$)

2.2.3.2 Regresi Linier Sederhana

Data statistik yang telah terkumpul kemudian dapat diolah menjadi sebuah kurva dengan metode regresi linier. Regresi dilakukan untuk mempelajari dan mengukur hubungan statistik yang terjadi antara dua atau lebih variabel. Regresi sederhana merupakan hubungan antara dua variabel yaitu variabel bebas (variabel independen) dan variabel tak bebas (variabel dependen). Metode yang paling populer untuk menetapkan persamaan regresi linier sederhana adalah metode kuadrat terkecil (*least square method*). Berikut persamaan yang digunakan dalam regresi linier sederhana:

$$y = a + bx \quad (3)$$

Dimana:

y = nilai *estimate* variabel terikat

a = titik potong garis regresi pada sumbu y atau nilai *estimate* y bila $x = 0$

b = gradien garis regresi (perubahan nilai *estimate* y per-satuan perubahan nilai x)

x = nilai variabel bebas

Untuk mendapatkan nilai-nilai konstanta a dan b pada persamaan garis regresi, rumusan yang akan digunakan adalah sebagai berikut:

$$a = y - bx \quad (4)$$

$$b = \frac{\Sigma(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\Sigma(x_i - \bar{x})^2} \quad (5)$$

Dimana:

x_i = nilai x ke- i

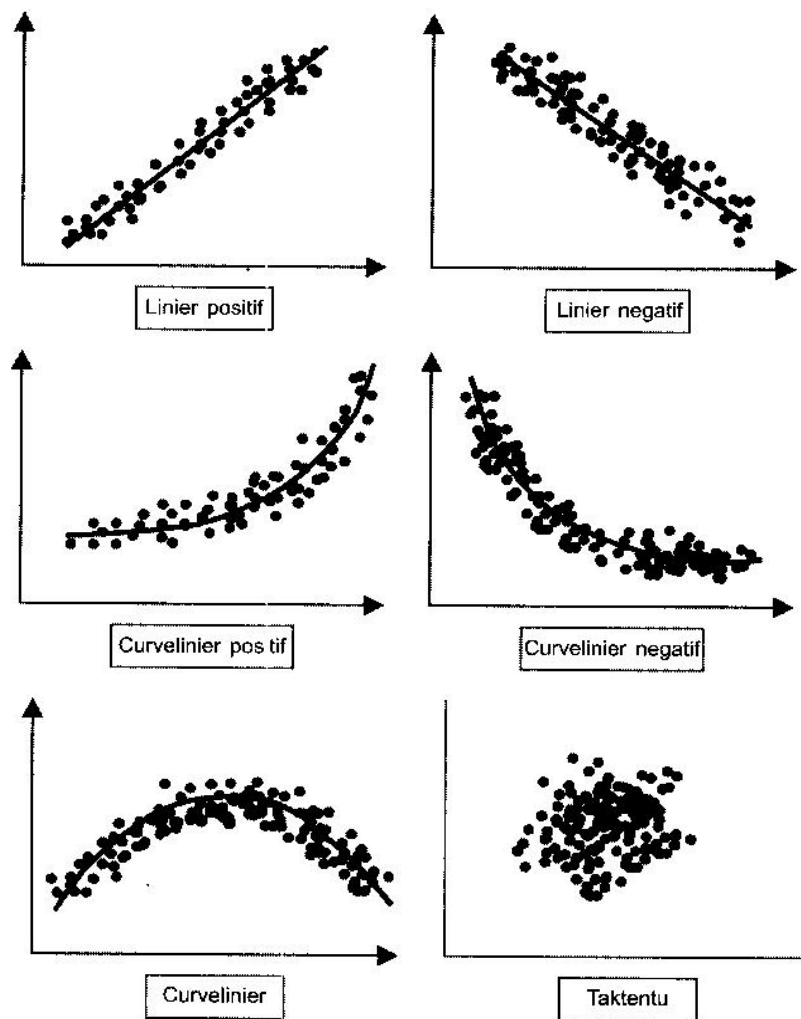
y_i = nilai y ke- i

\bar{x} = mean dari variabel x

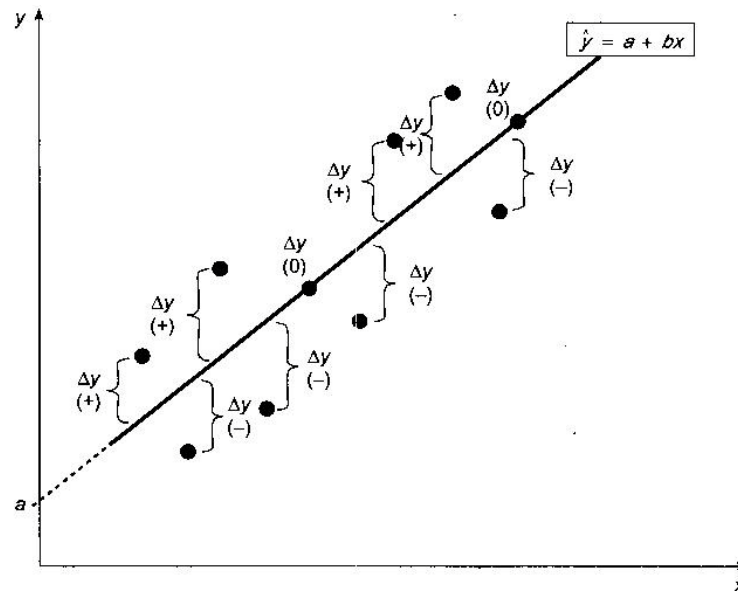
\bar{y} = mean dari variabel y

a = titik potong garis regresi pada sumbu y atau nilai estimate y bila $x = 0$

b = gradien garis regresi (perubahan nilai *estimate* y per-satuan perubahan nilai x)



Gambar 2.5 Beberapa bentuk diagram pencar (*scatter diagram*)
(Harinaldi, 2005)



Gambar 2.6 Garis regresi linier pada diagram pencar (Harinaldi, 2005)

Apabila persamaan garis regresi telah diketahui, maka trend atau kecenderungan dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut:

$$\text{Trend per - tahun} = \frac{\text{nilai maksimum} - \text{nilai minimum}}{\text{jumlah tahun pengamatan}} \quad (6)$$

Dimana:

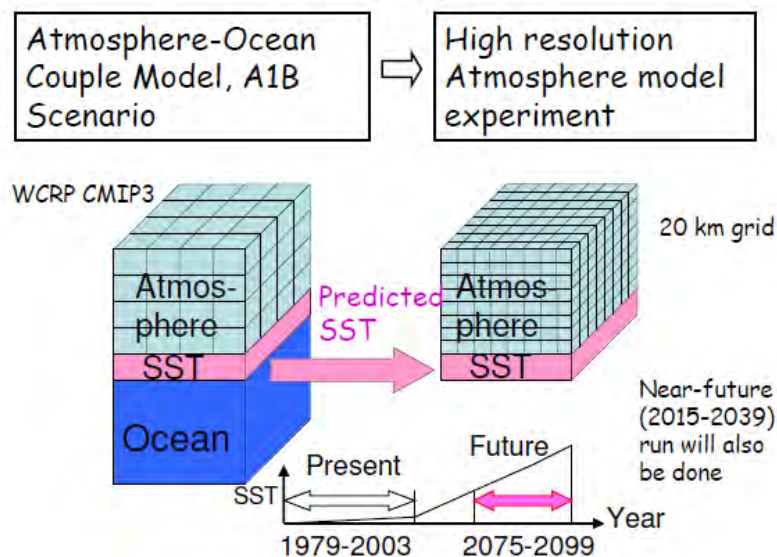
$$\text{Nilai minimum} \quad y = b(\text{urutan data ke} - 1) + a$$

$$\text{Nilai maksimum} \quad y = b(\text{urutan data ke} - n) + a$$

1.2.4 Global Circular Model (GCM)

Model proyeksi perubahan iklim global (*global climate projections*) ini dirancang oleh MRI-JMA Japan atau yang lebih dikenal dengan istilah *20 km high-resolution MRI-JMA AGCM*. Model ini adalah model atmosfer tunggal (*single atmospheric*) AGCM berdasarkan skenario A1B dan model ini dirancang khusus untuk program Kakushin (2007) (Kitoh et al., 2009). Program *Kakushin* (2007) sendiri adalah proyek penelitian tentang prediksi iklim cuaca yang didukung oleh Pemerintah Japan dan salah satu tujuannya adalah memprediksi kondisi cuaca ekstrim di wilayah Asia dan khususnya

Japan. Input data untuk model AGCM sendiri adalah *Sea Surface Temperature* (SST) dan rata-rata pemanasan SST (*the ensemble averaged warmer SST*) serta parameter-parameter iklim.



Gambar 2.7 Kakushin Program Time Slice Experiment
(Kitoh et al, 2009)

1.2.5 Pemodelan Numerik

Untuk memprediksi maupun menjelaskan perilaku gelombang laut, peneliti dapat menggunakan metode numerik. Holthuijsen (2007) menyatakan bahwa satu-satunya cara untuk mengetahui karakteristik gelombang ini maka dilakukan simulasi kondisi gelombang berdasarkan data angin.

Dalam pemodelan gelombang, data angin disederhanakan menjadi komponen horisontal tunggal pada setiap titik *grid*, berdasarkan nilai rata-rata untuk interval waktu yang ditentukan. Untuk tinggi gelombang yang digunakan dalam studi ini, variabel yang digunakan adalah tinggi gelombang signifikan (H_s).

Sterl et. al (1998) telah melakukan simulasi gelombang dengan resolusi *grid* $3^\circ \times 3^\circ$ periode 15 tahun. Dalam penelitian ini akan dimodelkan dengan

resolusi *grid* $1^\circ \times 1^\circ$ ($1^\circ = \pm 111,31988$ km) selama kurun waktu 20 tahun, untuk memaksimalkan akurasi hasil. Model yang akan digunakan untuk mensimulasikan tinggi gelombang dalam penelitian ini adalah model numerik WAM.

1.2.6 Pemodelan Gelombang (WAM model)

Model numerik WAM (WAMDI Group, 1988) adalah salah satu model gelombang yang dikenal luas dan telah banyak digunakan diseluruh dunia. Model WAM sendiri merupakan model numerik gelombang, yang diusulkan oleh Komen et al. (1994). WAM merupakan model gelombang generasi ketiga yang menghitung perubahan spektrum energi gelombang secara eksplisit dengan didasarkan pada integrasi numerik dari persamaan kesetimbangan energi. Persamaan spektrum energi gelombang yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$\frac{\partial}{\partial t} F + (\cos \phi)^{-1} \frac{\partial}{\partial \phi} (\phi \cos \phi F) + \frac{\partial}{\partial \lambda} (\lambda F) + \frac{\partial}{\partial \theta} (\theta E) = S_{tot} \quad (7)$$

$$S_{tot} = S_{in} + S_{nl} + S_{dis}$$

Dimana:

$F(\phi, \lambda, \theta, \sigma, t)$ = spektrum energi gelombang

ϕ = garis bujur

λ = garis lintang

θ = arah gelombang

t = waktu

σ = frekuensi relatif

S_{tot} = Sumber energi

S_{in} = interaksi angin gelombang (*wind wave interaction*)

S_{nl} = interaksi nonlinear antar gelombang (*nonlinear wave-wave interaction*)

S_{dis} = disipasi gelombang (*wave dissipation*)

Suku pertama, kedua dan ketiga yang terletak pada sisi kiri persamaan (7) diatas merupakan suku-suku perubahan lokal densitas (kerapatan) energi gelombang, perambatan dan perubahan frekuensi dan refraksi yang

dipengaruhi oleh variabilitas kedalaman dan faktor arus. Untuk suku-suku yang terdapat pada bagian kanan dari persamaan (7) merupakan suku-suku sumber dan disipasi.

Metoda yang dikembangkan oleh Jansen (1991) tentang angin sebagai suku sumber energi yang digunakan dalam WAM adalah:

$$S_{in} = 2\pi f \frac{\rho_a}{\rho_w} \frac{\beta_m}{\kappa^2} \mu \log(\mu)^4 x^2 F(f, \theta), \text{ if } \mu < 1 \quad (8)$$

Dimana:

$$\mu = \left(\frac{U_*}{C} \right)^2 \frac{g \cdot z_0}{U_*^2} \exp\left(\frac{\kappa}{x}\right) \quad (9)$$

$$x = \left(\frac{U_*}{C} + z_{alp} \right) \cos(\theta - \theta_w) \quad (10)$$

$$z_0 = \frac{\alpha U_*}{g \sqrt{1 - \frac{\tau_w}{\tau}}} \quad (11)$$

dengan κ adalah bilangan von Karman, β_m konstan bernilai 1.2, ρ_a rapat jenis udara, ρ_w rapat jenis air, μ variabel tidak berdimensi yang mewakili tinggi kritis, dan z_0 adalah panjang kekasaran permukaan.

Selanjutnya dengan memperhatikan kesetimbangan momentum udara, maka tegangan (*stress*) yang diberikan oleh angin sangat dipengaruhi oleh kondisi perairan dan diberikan oleh persamaan (12).

$$\tau = C_D U^2(L) \quad (12)$$

Dengan koefisien drag C_D adalah

$$C_D = \left\{ \kappa / (\ln(L/z_0)) \right\}^2 \quad (13)$$

Dimana L disini adalah tinggi rata-rata pengukuran kecepatan angin ($L=10m$), sedangkan stress yang ditimbulkan oleh gelombang diberikan oleh persamaan (14)

$$\tau_w = \rho_w \int \omega \gamma (F \cdot \cos(\theta - \theta_w)) df d\theta \quad (14)$$

Untuk Suku disipasi yang digunakan di model WAM merujuk pada persamaan yang diberikan oleh Komen et al (1994) adalah:

$$S_{db} = 3,33 \cdot 10^{-5} \varpi \left(\frac{\omega}{\varpi} \right)^2 \left(\frac{\alpha}{\alpha_{pm}} \right)^2 F \quad (15)$$

Dimana:

$$\varpi = E^{-1} \iint F(f, \theta) \omega df d\theta$$

$$E = \iint F(f, \theta) df d\theta$$

Nilai α (parameter kecuramanan gelombang) diberikan oleh persamaan:

$$\alpha = E \cdot \varpi^4 g^{-2} \quad (16)$$

Sedangkan parameter kecuramanan gelombang berdasarkan spektrum Pierson Moskowitz, diberikan dengan nilai $\alpha_{PM} = 4.57 \times 10^3$.

Suku sumber interaksi nonlinier gelombang diberikan oleh:

$$S_{nl}(k_4) = \int \omega_4 \sigma \delta(k_1 + k_2 - k_3 - k_4) \delta(\omega_1 + \omega_2 - \omega_3 - \omega_4) (n_1 n_2 (n_3 + n_4) - n_1 n_2 (n_3 + n_4)) dk_1 dk_2 dk_3 \quad (17)$$

Suku disipasi yang ditimbulkan oleh gesekan dasar diberikan oleh Hasselman et. al (1985) melalui persamaan:

$$S_{dis} = \frac{0.076}{g} \cdot \frac{k}{\sinh(2kh)} \cdot F(f, \theta) \quad (18)$$

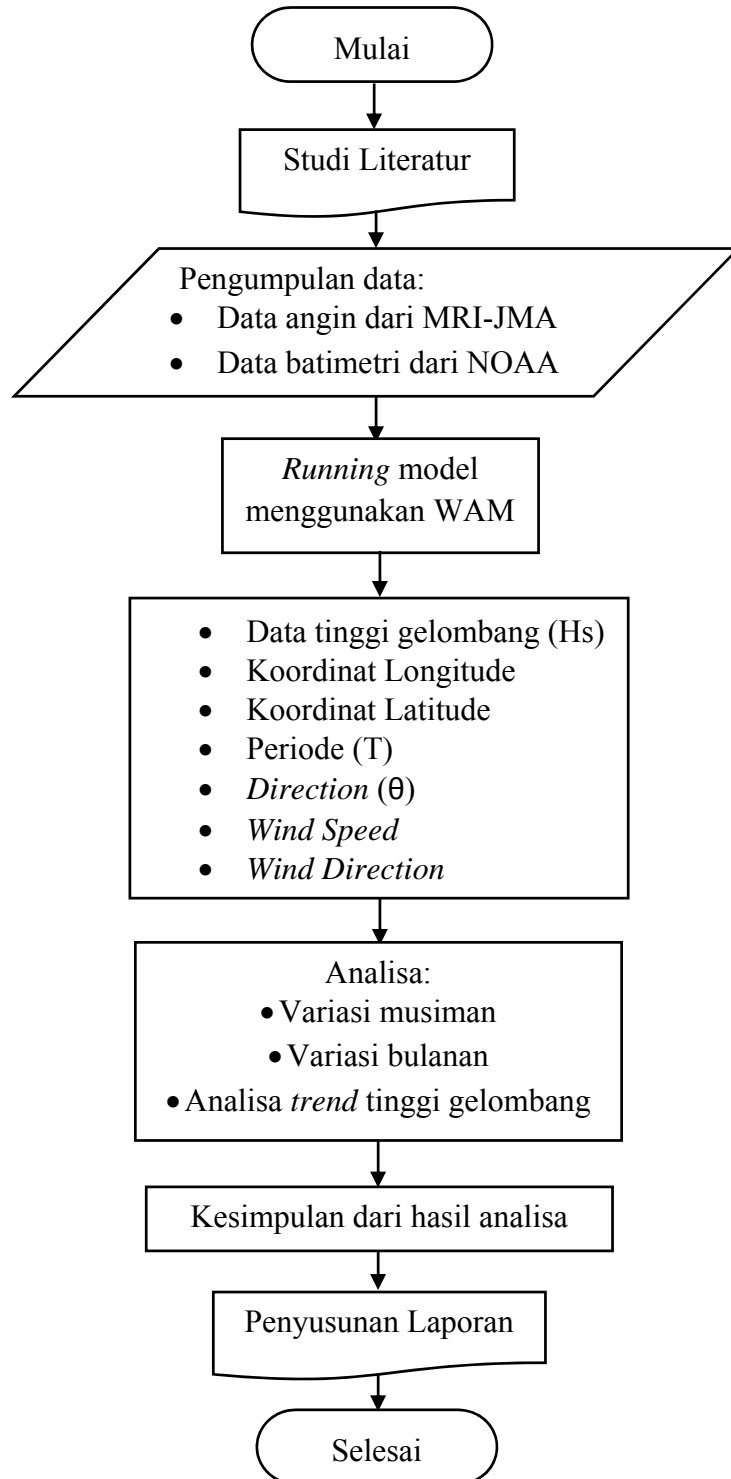
Model WAM ini akan dijalankan menggunakan data kecepatan angin dengan interval 6 jam, hasil output dari model MRI-AGCM iklim global (Mizuta, 2011).

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metodologi Penelitian

Metode penelitian ditunjukkan oleh diagram alir berikut ini:



Gambar 3.1 Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir

3.2 Prosedur Penelitian

3.2.1 Studi Literatur

Tahap studi literatur dilakukan dengan mengumpulkan berbagai referensi yang diperoleh dari jurnal, buku, *website* dan tugas akhir.

3.2.2 Pengumpulan Data

a) Data Angin

Data iklim angin yang akan digunakan dalam penelitian ini merupakan model perubahan iklim dunia, yaitu model AGCM (*Atmospheric Global Circular Model*) yang dibuat oleh MRI-JMA (*Meteorology Research Institute/Japan Meteorology Agency*). Data angin AGCM ini berasal dari data suhu permukaan laut yang diambil dari satelit altimetri.

b) Data Batimetri

Data Bathimetri yang akan digunakan untuk analisa merupakan data bathimetri global dari ETOPO milik NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*).

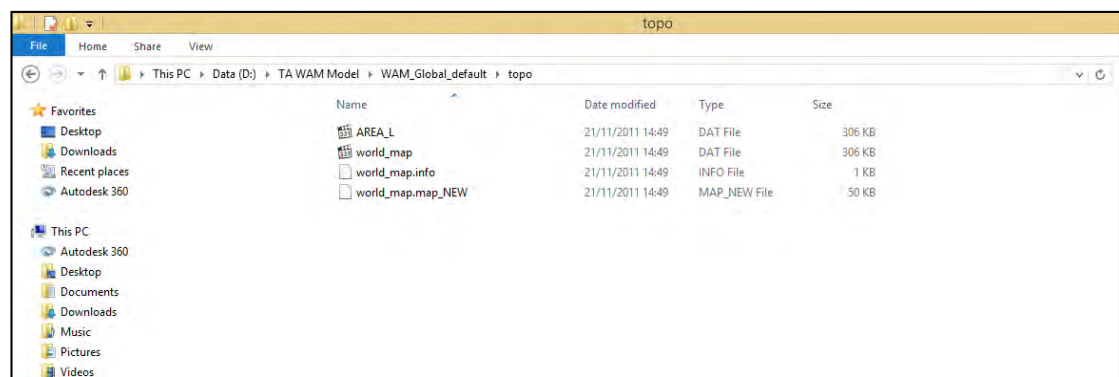
3.2.3 *Running* Model Menggunakan WAM

Data angin dimodelkan menggunakan WAM dengan software *Compaq Visual Basic Fortran*. Hasil pemodelan berupa data tinggi gelombang signifikan (H_s) beserta koordinat longitude dan latitude. Berikut langkah-langkah menjalankan WAM Model.

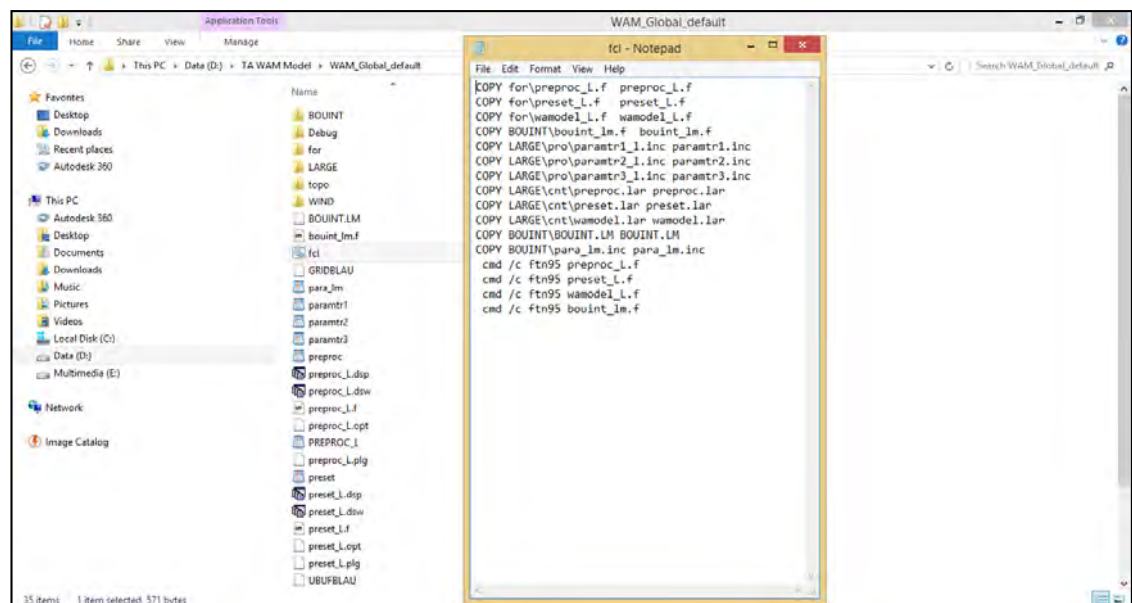
The screenshot shows a Windows File Explorer window titled 'WIND'. The address bar displays the path: 'This PC > Data (D:) > TA WAM Model > WAM_Global_default > WIND'. The left sidebar shows 'Favorites' with links to Desktop, Downloads, Recent places, and Autodesk 360. The main pane displays a table of files:

| Name | Date modified | Type | Size |
|--------------|------------------|---------------|--------------|
| 1989WIND_V_L | 24/01/2012 14:44 | Text Document | 1,152,081 KB |

2. Masukkan file batimetri ke dalam folder topo. File ini diperoleh dari ETOPO milik NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*).

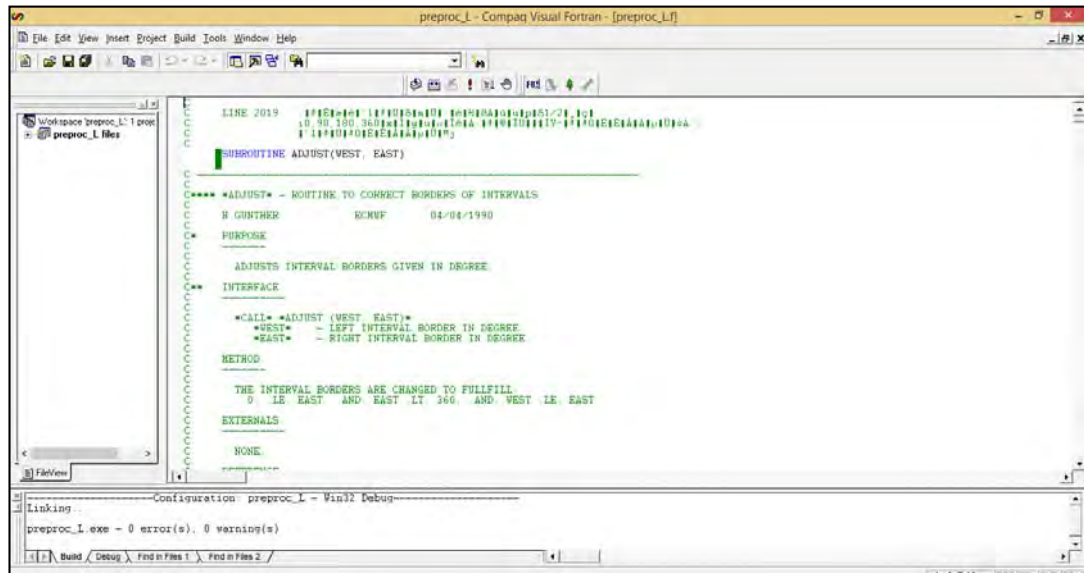


3. Buka file fcl.bat melalui command propt. Berikut perintah yang ada di dalam fcl.bat



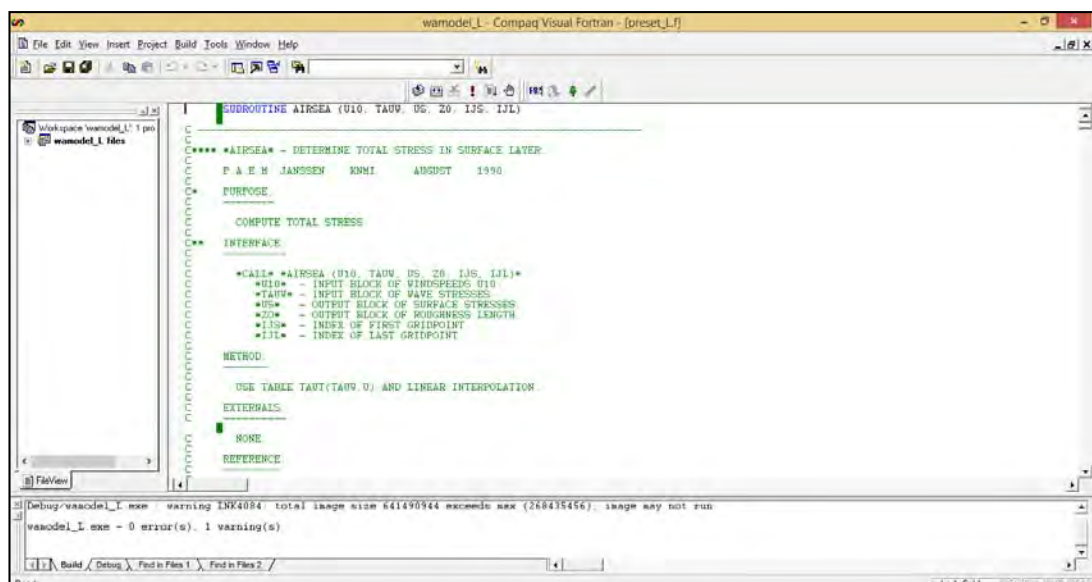
Gambar 3.4 fcl.bat

4. Run program `preproc_L.f` melalui *software* Compaq Visual Basic Fortran. Klik compile dan build. Apabila tidak ada eror yang terjadi, maka klik *execute*.



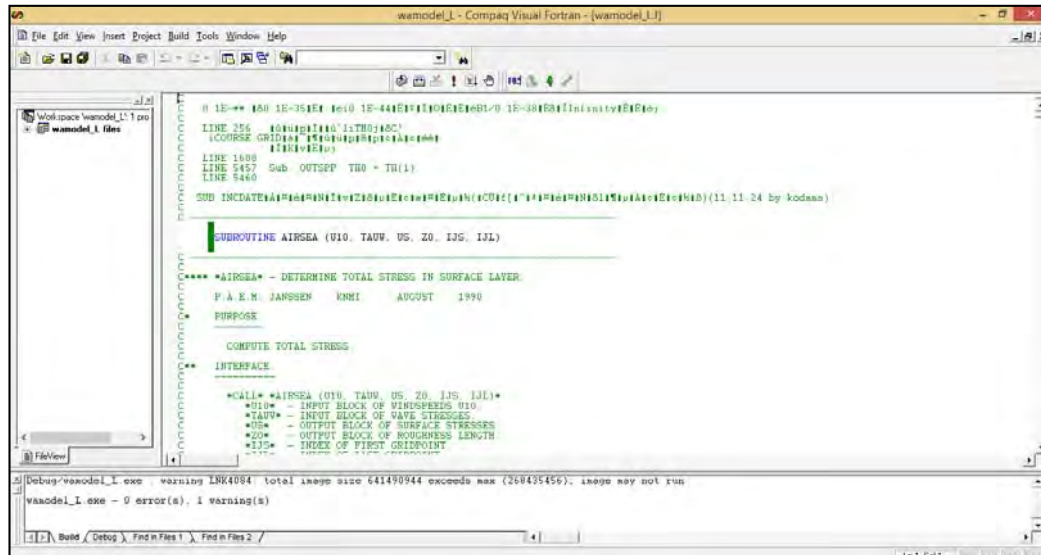
Gambar 3.5 Program `preproc_L.f`

5. Run program `preset_L.f`



Gambar 3.6 Program `preset_L.f`

6. Run program wamodel_L.f. Output dari program ini adalah file map yang berupa *binary file* dengan rentang waktu per jam. *Binary file* adalah sekumpulan data biner atau data mentah yang belum diolah. Berikut pada gambar 3.7 dibawah ini program wamodel_L.f.

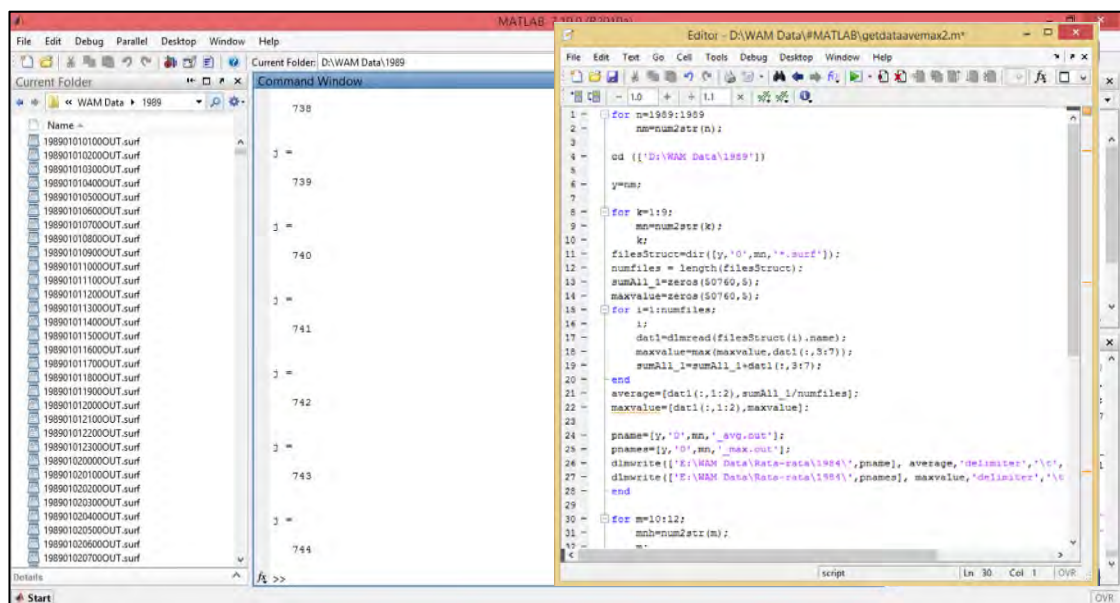


Gambar 3.7 Program wamodel_L.f.

7. Output map yang berupa *binary file* kemudian diolah menjadi data tinggi gelombang berupa file ASCII (*American Standard Code for Information Interchange*) yaitu format data yang lebih besar ukuran filenya daripada *binary file*. Proses ini terdiri dari beberapa tahap. Sebelum mengubah format file, buat filename.txt yang berisi YYMMDDHH selama setahun dengan menjalankan program make_date.for. Output dari program tersebut juga berupa file ASCII yang berisi data urutan angka tahun, bulan, hari dan jam. Output tersebut nantinya akan digunakan untuk menjalankan program berikutnya. Berikut gambar 3.8 dibawah ini yaitu program make_date.for.

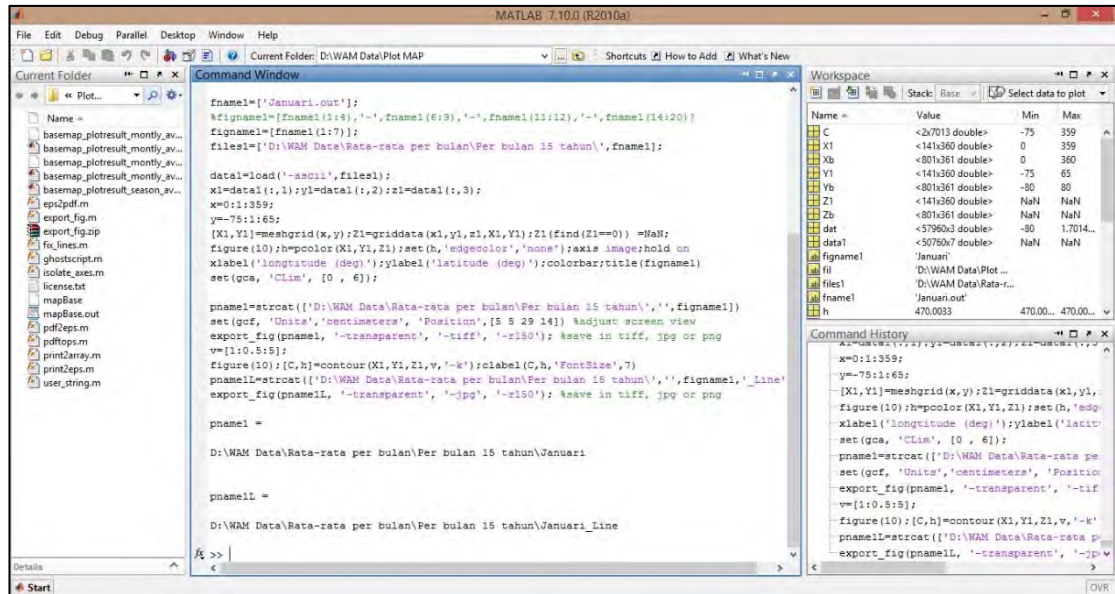
3.2.4 Analisa Variasi Musiman, Variasi Bulanan dan Analisa *Trend* Hs

1. Hasil pemodelan WAM berupa file ASCII yang berisi tinggi gelombang signifikan (Hs) dalam rentang waktu per-jam. Data tersebut diolah menggunakan *software* Matlab untuk mendapatkan rata-rata tinggi gelombang signifikan per tiga bulan (musiman) dan rata-rata Hs per-bulan. Proses ini membutuhkan waktu yang lama karena file ASCII yang digunakan jumlahnya cukup banyak.



Gambar 3.10 Program getdataavemax2.m

2. Setelah hasil rata-rata diperoleh, langkah berikutnya adalah memetakan data tinggi gelombang signifikan beserta data koordinatnya menggunakan program `basemap_plotresult_monthly_average.m`. Dari proses plot figure distribusi tinggi gelombang signifikan (Hs) tersebut nantinya akan diperoleh peta sebaran Hs secara global. Berikut gambar 3.11 dibawah ini program yang digunakan untuk proses plot figure.



Gambar 3.11 Program `basemap_plotresult_monthly_average.m`

3.2.5 Analisa Variasi dan *Trend* Tinggi Gelombang

Hasil analisa akan berupa peta rata-rata tinggi gelombang signifikan (H_s) yang dibagi menurut variasi bulanan dan musiman dalam kurun waktu dari tahun 1984 sampai tahun 2003. Peta kemudian dianalisa untuk mengetahui kecenderungan (*trend*) tinggi gelombang laut secara global dan pengaruhnya terhadap perairan Indonesia. Analisa *trend* dikerjakan dengan menggunakan *software* Ms. Excel.

3.2.6 Kesimpulan dari Hasil Analisa

Setelah hasil analisa diperoleh, maka kesimpulan dapat ditarik sesuai dengan tujuan analisa.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

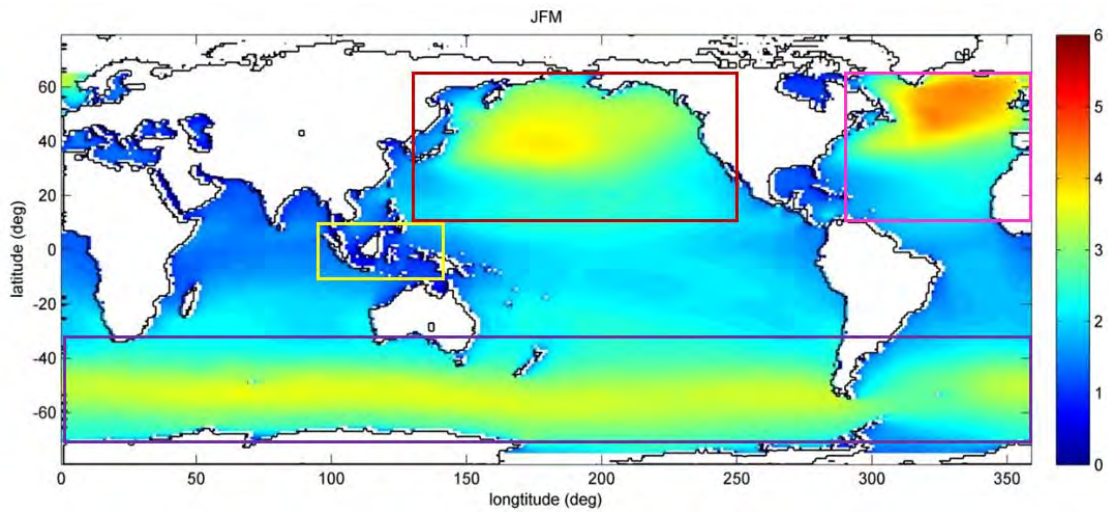
4.1 Variasi Tinggi Gelombang Laut Selama Periode 1984 Hingga 2003

Variasi tinggi gelombang signifikan (H_s) berdasarkan data hindcasting selama 20 tahun dipresentasikan menggunakan figur peta secara global yang dibagi perbulan dan pertiga bulan. Pembagian pertiga bulan tersebut disesuaikan dengan periode musim yang terjadi di dunia, yaitu musim dingin, musim semi, musim panas dan musim gugur.

Beberapa penelitian, seperti penelitian yang telah dilakukan oleh Caires et al. (2004) dan Wang et al. (2003), pembagian musim dalam setahun yaitu pada bulan Januari-Februari-Maret (JFM), bulan April-Mei-Juni (AMJ), bulan Juli-Agustus-September (JAS) dan bulan Oktober-November-Desember (OND). Musim yang ada di beberapa wilayah bumi terjadi karena adanya perpindahan posisi bumi terhadap matahari. Musim yang terjadi berbeda antara bagian utara bumi (0° - 90° latitude dan 0° - 360° longitude) dan bagian selatan bumi (0° - (-90°) latitude dan 0° - 360° longitude).

Pada bulan Januari, Februari dan Maret, bagian utara bumi mengalami musim dingin dan bagian selatan bumi mengalami musim panas. Kemudian pada bulan April, Mei dan Juni, di bagian utara bumi sedang terjadi musim semi dan bagian selatan bumi sedang terjadi musim gugur. Bulan Juli, Agustus dan September, bagian utara bumi mengalami musim panas, sedangkan bagian selatan mengalami musim dingin. Pada bulan Oktober hingga Desember, di bagian utara bumi terjadi musim gugur dan bagian selatan bumi terjadi musim semi.

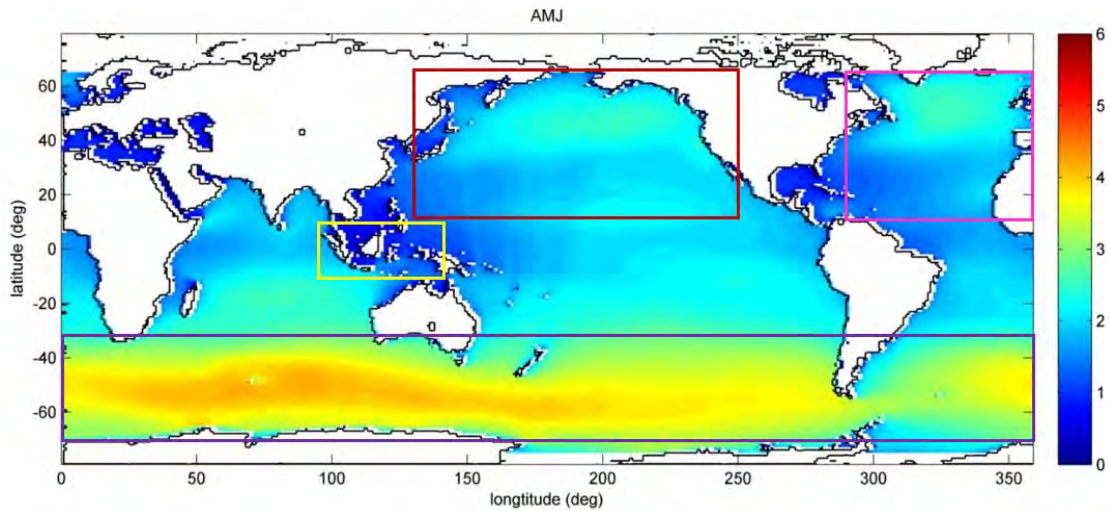
4.1.2 Rata-rata Hs pada Bulan Januari, Februari dan Maret



Gambar 4.1 Peta rata-rata Hs pada bulan Januari, Februari dan Maret selama 20 tahun

Pada gambar 4.1 diketahui terdapat beberapa wilayah laut yang ditinjau, yaitu samudera Pasifik dan Atlantik utara, perairan Indonesia dan laut bagian selatan bumi (*Northern hemisphere*). Pada beberapa lokasi tersebut memiliki Hs yang tinggi khususnya di laut bagian utara bumi, yaitu Samudera Pasifik utara dan Samudera Atlantik utara. Samudera Pasifik utara hingga Laut Bering yang berada di koordinat 20° - 65° latitude dan 130° - 250° longitude memiliki rata-rata Hs antara 0,37 hingga 3,81 m. Pada wilayah Samudera Atlantik utara, rata-rata Hs berada diantara 0,63 hingga 4,43 meter. Perairan Indonesia cenderung tenang dengan kisaran Hs antara 0,30 hingga 1,46 m. Pada wilayah laut bagian selatan bumi (*southern ocean*), yaitu Samudera Hindia dan Samudera Pasifik pada -30° hingga (-80°) latitude memiliki rata-rata Hs yang tinggi antara 1,22 sampai 3,58 m.

4.1.3 Rata-rata Hs pada Bulan April, Mei dan Juni

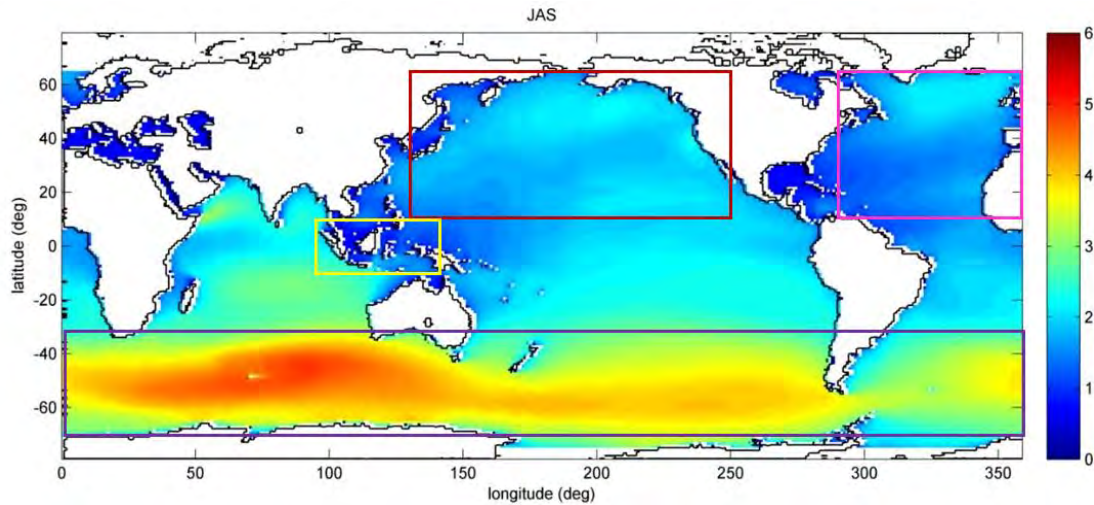


Gambar 4.2 Peta rata-rata Hs pada bulan April, Mei dan Juni selama 20 tahun

Pada gambar 4.2 terlihat perbedaan Hs antara laut di belahan bumi bagian utara dan selatan. Pada bulan april, mei dan juni, rata-rata Hs yang terjadi di Samudera Pasifik utara berkisar antara 0,31 hingga 2,49 m. Pada wilayah Samudera Atlantik utara, rata-rata Hs yang terjadi selama 20 tahun berada pada kisaran 0,43 hingga 2,55 m. Sedangkan di Perairan Indonesia dengan rata-rata Hs antara 0,19 sampai 2,29 m. Samudera Hindia di selatan pulau Jawa merupakan area dengan rata-rata Hs tertinggi dibanding Samudera Pasifik.

Angin dari bagian utara bumi pada bulan april, mei dan juni mulai bergerak ke bagian selatan bumi yang memiliki temperatur lebih hangat daripada bagian utara bumi sehingga Hs di Samudera Hindia, Pasifik dan Atlantik bagian selatan mulai mengalami kenaikan. Pada Samudera Hindia bagian selatan, rata-rata Hs antara 1,51 hingga 4,21 m.

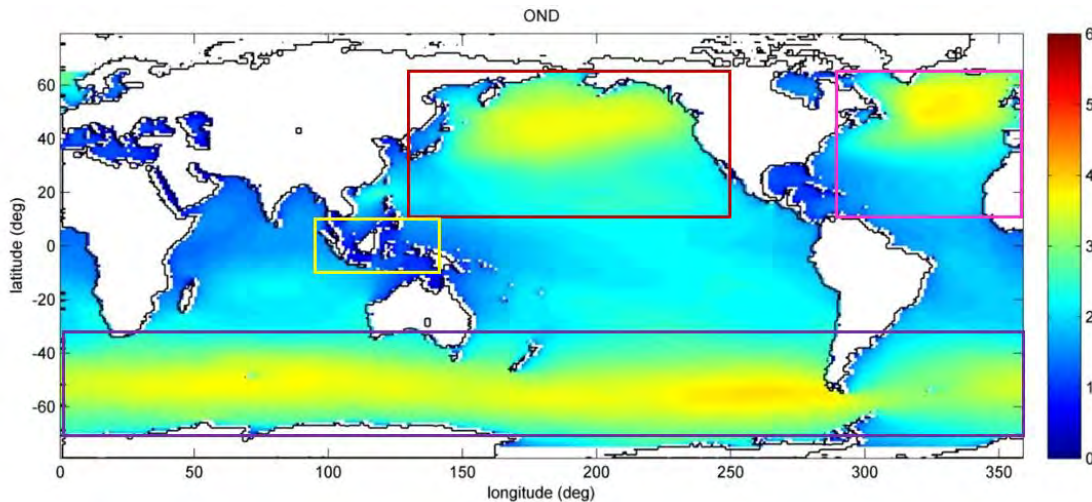
4.1.4 Rata-rata Hs pada Bulan Juli, Agustus dan September



Gambar 4.3 Peta rata-rata Hs pada bulan Juli, Agustus dan September selama 20 tahun

Pada peta diatas terlihat jelas perbedaan Hs antara laut di bagian bumi bagian utara dan selatan. Pada bulan Juli, Agustus dan September, belahan bumi bagian utara sedang mengalami musim panas dan belahan bumi bagian selatan sedang mengalami musim dingin. Dari gambar diatas dapat kita ketahui angin akan berpindah menuju bagian selatan bumi sehingga di laut bagian selatan mengalami kenaikan dari bulan sebelumnya dengan rata-rata Hs antara 1,64 hingga 4,89 m. Sedangkan di bagian utara bumi, rata-rata Hs yang terjadi di Samudera Pasifik utara berkisar antara 0,29 hingga 2,25 m dan Hs di wilayah Samudera Atlantik utara berada diantara 0,40 hingga 2,11 m. Pada perairan Indonesia mengalami kenaikan dengan rata-rata Hs antara 0,16 sampai 2,74 m.

4.1.5 Rata-rata Hs pada Bulan Oktober, November dan Desember



Gambar 4.4 Peta rata-rata Hs pada bulan Oktober, November dan Desember selama 20 tahun

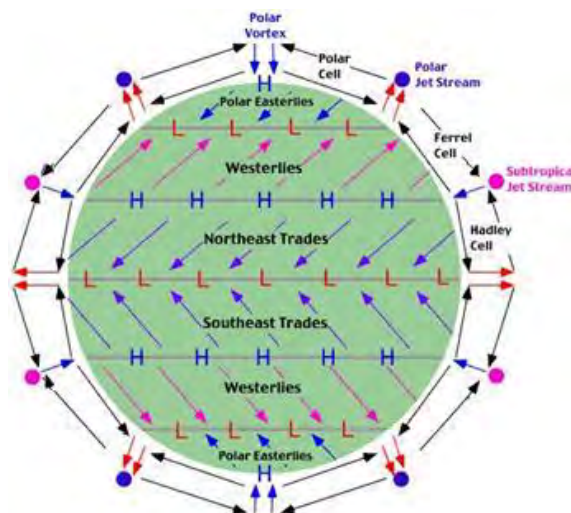
Pada gambar 4.4 dapat diketahui bahwa saat bulan Oktober, November dan Desember belahan bumi bagian utara sedang mengalami musim gugur dan belahan bumi bagian selatan sedang mengalami musim semi. Rata-rata Hs yang terjadi di Samudera Pasifik utara berkisar antara 0,35 hingga 3,63 m dan Samudera Atlantik utara berada pada kisaran 0,51 hingga 3,80 m. Sedangkan di Perairan Indonesia rata-rata Hs tertinggi mengalami penurunan menjadi 0,23 hingga 1,67 m. Rata-rata Hs di laut bagian selatan juga mengalami penurunan dari musim sebelumnya menjadi 3,86 m. Meskipun rata-rata Hs di laut bagian selatan bumi selalu berubah-ubah, namun Hs di perairan ini selalu tinggi sepanjang musim.

Berubah-ubahnya tinggi gelombang laut dipengaruhi oleh pergerakan angin secara global. Angin bergerak dari tempat yang bertekanan tinggi (suhu dingin) ke tempat yang bertekanan rendah (suhu panas). Apabila ditinjau secara global, perbedaan tekanan udara dan suhu di bumi sangat erat kaitannya dengan perbedaan musim yang terjadi. Oleh karena itu, perbedaan musim di dunia sangat mempengaruhi perubahan tinggi gelombang laut.

Angin merupakan salah satu pembangkit gelombang laut yang dapat bergerak akibat perbedaan tekanan udara dimana tekanan udara tersebut

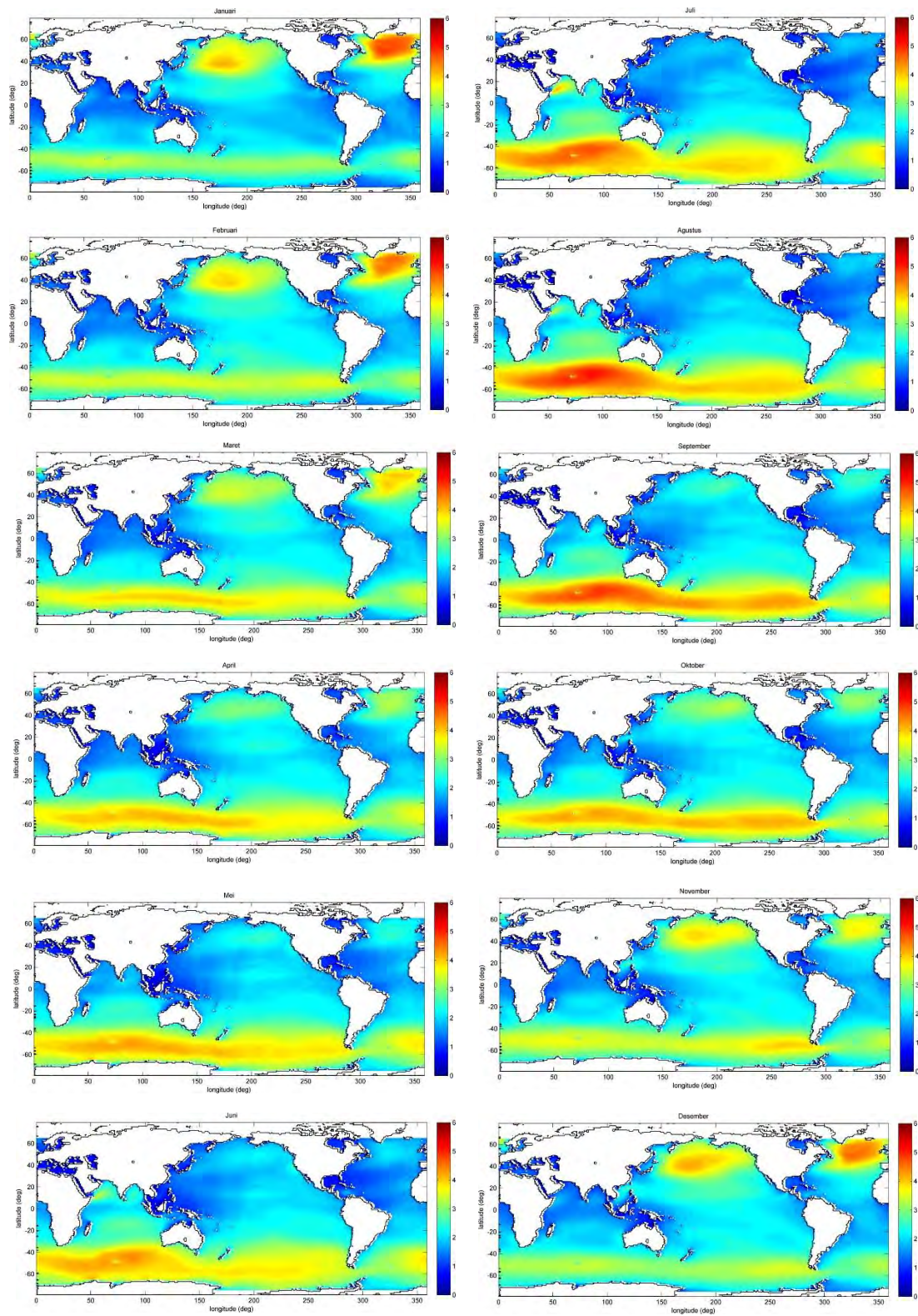
berkaitan dengan musim yang terjadi. Bagian utara bumi (*Northern Hemisphere*) dan bagian selatan bumi (*Southern Hemisphere*) memiliki musim yang berbeda yang disebabkan oleh perbedaan posisi bumi terhadap matahari. Apabila pada bagian utara bumi memiliki tekanan udara rendah, yaitu saat musim dingin, maka angin akan bergerak ke bagian selatan bumi yang bertekanan udara lebih tinggi sehingga Hs yang ada di bagian utara bumi mengalami penurunan sedangkan bagian selatan bumi mengalami kenaikan Hs. Sebaliknya, ketika bagian utara bumi memiliki tekanan udara tinggi, misalnya saat musim panas, maka angin dari selatan bumi akan bergerak ke utara sehingga Hs yang ada di bagian utara bumi mengalami kenaikan sedangkan bagian selatan bumi mengalami penurunan Hs.

Menurut Reid et. al. (2011), perbedaan tekanan udara secara global terdapat pada beberapa garis koordinat yang ada di bumi. Pada gambar 4.5 dibawah ini, tekanan udara diketahui tinggi di sepanjang garis koordinat latitude 90° , 30° , 0° , -90° dan -30° . Sedangkan pada garis koordinat latitude 60° dan -60° memiliki tekanan udara yang rendah. Di bagian utara bumi, angin dari garis koordinat latitude 90° dan latitude 30° bergerak ke daerah sepanjang garis koordinat latitude 60° yang memiliki tekanan udara rendah. Hal yang sama juga berlaku pada bagian selatan bumi, yaitu angin dari garis koordinat latitude -90° dan latitude -30° bergerak ke daerah sepanjang garis koordinat latitude -60° . Hal ini menyebabkan wilayah perairan di sekitar garis koordinat latitude 60° dan latitude -60° memiliki Hs yang cukup tinggi.



Gambar 4.5 Pola sirkulasi angin global (Lucianto, 2011)

4.1.6 Variasi Rata-rata Hs Perbulan Selama 20 Tahun



Gambar 4.6 Peta Rata-rata Hs Perbulan Selama 1984-2003

Rata-rata Hs setiap bulan selalu berubah-ubah. Perubahan rata-rata Hs ini dipengaruhi oleh pergerakan angin secara global. Pada bulan Januari, bagian utara bumi (0° - 90° latitude dan 0° - 360° longitude) yaitu Samudera Pasifik utara dan Samudera Atlantik utara, memiliki rata-rata Hs lebih tinggi daripada bagian selatan bumi. Angin dari utara mulai bergerak menuju laut bagian selatan sehingga Hs yang terjadi di bagian selatan semakin tinggi. Kemudian pada bulan Februari dan Maret, rata-rata Hs di laut bagian utara mengalami penurunan sedangkan laut bagian selatan bumi (-0° - -90°) latitude dan 0° - 360° longitude) mulai menunjukkan kenaikan Hs. Laut bagian selatan terus mengalami kenaikan Hs hingga mencapai Hs tertinggi pada bulan Juli kemudian menurun secara bertahap mulai bulan Agustus hingga Desember. Peta rata-rata Hs perbulan dapat dilihat lebih jelas pada lampiran A.

Berita mengenai kerusakan yang terjadi akibat gelombang tinggi contohnya adalah kerusakan *rig* di lepas pantai seperti pada situs www.home.versatel.nl. Pada tanggal 20 Agustus 1990, laut utara dekat Samudera Atlantik utara sedang dilanda badai. *West Gamma Jack Up* yang berlokasi di laut utara ditempa gelombang setinggi 12 m dan angin mencapai 60 knot. *Jack Up* tersebut tidak stabil dan miring 10 derajat sehingga menyebabkan banjir di lambung bawah *rig*. Semua kru dievakuasi menggunakan kapal karena penggunaan helikopter tidak memungkinkan. Lalu kondisi *Jack Up* semakin memburuk kemudian tenggelam di lepas pantai dari Helgoland, Jerman, pada kedalaman 44 m dengan titik tertinggi dari *rig* hanya 10 m di bawah permukaan laut saat kondisi surut. Pada tahun 1994, pemerintah Jerman membongkar *Gamma Jack Up* secara bertahap.



Gambar 4.7 West Gamma Jack Up (www.versatel.nl)

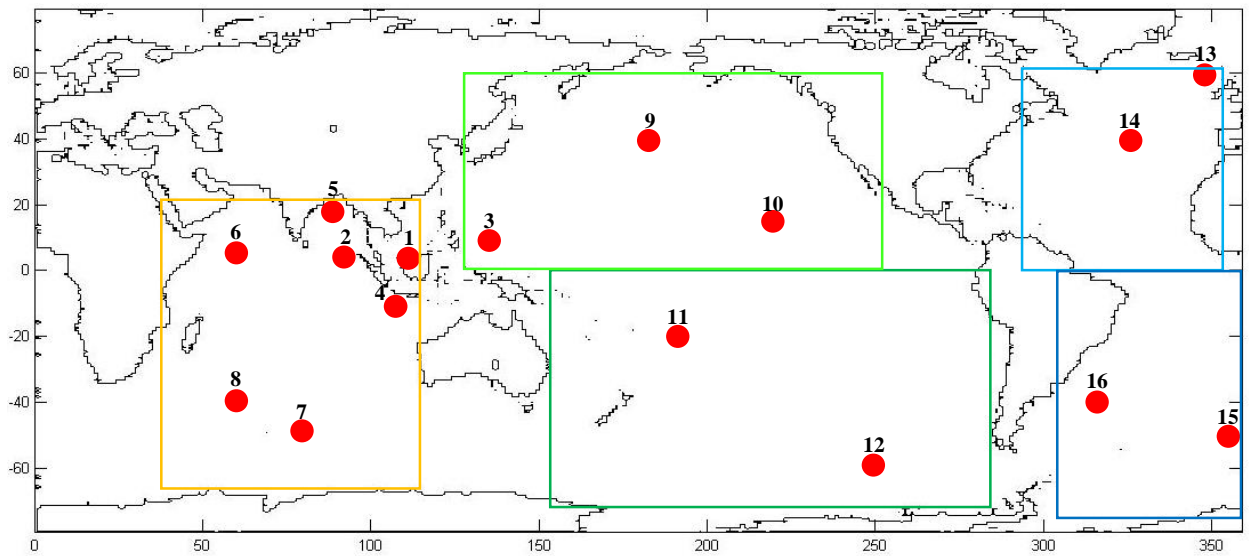
4.2 Kecenderungan (Trend) Tingkat Kenaikan dan Penurunan Hs Selama Periode 1984-2003

4.2.1 Trend Rata-rata Hs Pertahun Selama 1984-2003

Fenomena kenaikan atau penurunan tinggi gelombang dapat diamati dengan menggunakan analisa trend linier. Analisa trend ini dilakukan untuk mengamati kecenderungan tingkat kenaikan atau penurunan Hs dalam kurun waktu 20 tahun dengan menggunakan data rata-rata tinggi gelombang. Lokasi yang digunakan untuk analisa trend ini diperoleh dengan pememilihan beberapa titik di berbagai wilayah laut dunia seperti Samudera Pasifik, Samudera Atlantik, Samudera Hindia dan wilayah sekitar perairan Indonesia. Dari empat wilayah laut tersebut, maka diambil 4 titik secara acak sehingga secara keseluruhan diperoleh 16 titik. Berikut beberapa titik koordinat yang akan digunakan untuk menganalisa trend rata-rata Hs.

Tabel 4.1 Titik koordinat yang akan dianalisa

| Titik | Lokasi | Keterangan |
|-------|-------------------------------|-------------------------------------|
| 1 | Longitude 110°, Latitude 5° | Laut Cina Selatan, Utara Natuna |
| 2 | Longitude 90°, Latitude 5° | Samudera Hindia, Barat Aceh |
| 3 | Longitude 140°, Latitude 10° | Samudera Pasifik, Barat Papua |
| 4 | Longitude 110°, Lat -10° | Samudera Hindia, Selatan Yogyakarta |
| 5 | Longitude 90°, Latitude 20° | Samudera Hindia |
| 6 | Longitude 60°, Latitude 5° | Samudera Hindia |
| 7 | Longitude 80°, Lat -50° | Samudera Hindia |
| 8 | Longitude 60°, Latitude -40° | Samudera Hindia |
| 9 | Longitude 180°, Latitude 40° | Samudera Pasifik Utara |
| 10 | Longitude 220°, Latitude 15° | Samudera Pasifik Utara |
| 11 | Longitude 190°, Latitude -20° | Samudera Pasifik Selatan |
| 12 | Longitude 250°, Latitude -60° | Samudera Pasifik Selatan |
| 13 | Longitude 350°, Latitude 60° | Samudera Atlantik Utara |
| 14 | Longitude 325°, Latitude 40° | Samudera Atlantik Utara |
| 15 | Longitude 359°, Latitude -50° | Samudera Atlantik Selatan |
| 16 | Longitude 320°, Latitude -40° | Samudera Atlantik Selatan |



Gambar 4.8 Peta pengambilan titik-titik yang akan dianalisa

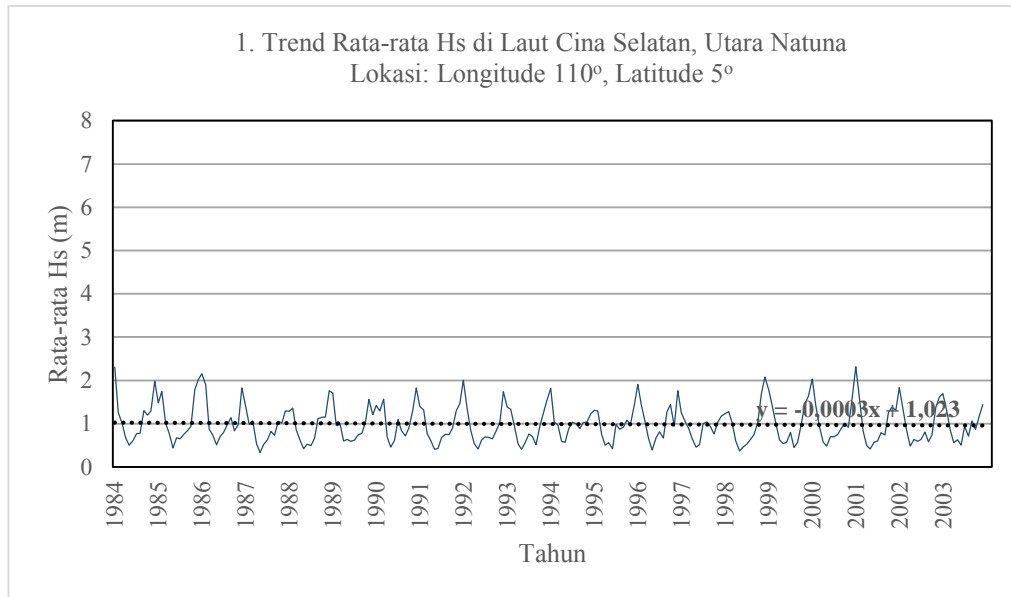
Keterangan:

- : Titik koordinat lokasi yang akan dianalisa
- : Samudera Pasifik Utara
- : Samudera Pasifik Selatan
- : Samudera Atlantik Utara
- : Samudera Atlantik Selatan
- : Samudera Hindia

Setelah diperoleh 16 titik yang tersebar di berbagai wilayah laut seperti pada gambar 4.8, kemudian dilakukan pengumpulan data gelombang pada titik-titik koordinat tersebut. Data gelombang di tiap-tiap titik koordinat lalu diolah menjadi grafik dan dilakukan regresi linier sederhana menggunakan *software* Ms. Excel. Persamaan garis regresi yang telah diperoleh akan digunakan untuk menghitung trend kenaikan atau penurunan tinggi gelombang.

Berikut dibawah ini grafik trend Hs di lokasi perairan Laut Cina Selatan yang berada di utara Natuna dengan koordinat 110° dan Latitude 5 ° seperti pada gambar 4.9. Pada grafik tersebut, dapat diketahui bahwa rata-rata Hs selalu tinggi di awal dan akhir tahun, yaitu pada bulan Januari dan bulan

Desember. Sedangkan rata-rata Hs menjadi sangat rendah pada pertengahan tahun, yakni bulan Mei.



Gambar 4.9 Grafik trend rata-rata Hs di utara kepulauan Natuna, Laut Cina Selatan

Garis regresi menunjukkan bahwa trend rata-rata Hs pada titik 1 mengalami penurunan dari tahun 1984 hingga tahun 2003. Dari grafik diatas kemudian dicari trend linier rata-rata Hs dalam kurun waktu 20 tahun dengan menggunakan persamaan garis linier sebagai berikut:

$$y = a + bx$$

Dimana:

y = variabel terikat yang akan dicari, dalam perhitungan ini yang dimaksud adalah

trend rata-rata Hs

a = titik potong garis regresi pada sumbu y

b = gradien garis regresi

x = nilai variabel bebas yaitu waktu, dalam perhitungan ini yang dimaksud adalah

jumlah waktu atau jumlah bulan selama 20 tahun.

Setelah persamaan garis diketahui, langkah selanjutnya adalah menghitung nilai maksimum dan nilai minimum dengan memasukkan jumlah

bulan 1 untuk nilai minimum dan jumlah bulan 240 untuk nilai maksimum ke dalam variabel x. Lalu untuk mendapatkan trend rata-rata Hs pada koordinat yang ditinjau, maka digunakan persamaan berikut:

$$\text{Trend per - tahun} = \frac{\text{nilai maksimum} - \text{nilai minimum}}{20}$$

Dimana:

Angka 20 menyatakan lama tahun pengamatan pada koordinat yang ditinjau

Setelah memperoleh variabel-variabel yang akan digunakan, maka dilakukan perhitungan trend pada koordinat longitude 110°, latitude 5°.

Berikut perhitungannya:

$$y = -0,0003x + 1,023$$

$$\text{Nilai minimum} : y = -0,0003 (1) + 1,023 = 1,0227$$

$$\text{Nilai maksimum} : y = -0,0003(240) + 1,023 = 0,9510$$

$$\text{Trend per tahun} = \frac{0,9510-1,0227}{20}$$

$$= -0,003585 \text{ m/tahun}$$

$$= -0,3585 \text{ cm/tahun}$$

Perlu diingat, ada hal-hal yang perlu ditinjau dalam penggunaan garis regresi untuk menghitung perkiraan dari suatu hasil. Hal-hal tersebut adalah belum bisa diketahui bagaimana keakurasian hasil perkiraan, sebab pada gambar 4.8 dapat dilihat bahwa kenaikan dan penurunan grafik cukup tajam. Selain itu, nilai-nilai yang berada di luar kisaran yang digunakan untuk membuat persamaan garis regresi belum bisa diperkirakan, sebab hubungan antara variabel terikat (y) dan variabel bebas (x) untuk nilai-nilai yang lebih besar atau lebih kecil belum bisa dipastikan. Maka dari itu diperlukan uji relasi mengenai kemiringan (*slope*) garis regresi.

Menurut Harinaldi (2005), ada atau tidaknya kemiringan garis regresi dapat diketahui dengan melakukan pengujian hipotesis yaitu uji-*t* yang mengikuti 7 langkah dibawah ini:

1. *Pernyataan Hipotesis Nol dan Hipotesis Alternatif*

Pada persoalan ini ingin diketahui apakah ada hubungan antara variabel x dan y yang diindikasikan dengan kemiringan garis regresi. Apabila

tidak terdapat hubungan, maka nilai B adalah nol. Berikut hipotesis nol dan hipotesis alternatif yang akan dilakukan pengujian:

$$H_0 : B = 0$$

$$H_1 : B \neq 0$$

2. *Pemilihan tingkat kepentingan*

Tingkat kepentingan biasanya bernilai antara 0,01 atau 0,05.

3. *Penentuan distribusi pengujian yang digunakan*

Distribusi t digunakan pada pengujian ini. Nilai-nilai dari distribusi ditentukan dengan mengetahui:

- a) Tingkat kepentingan (*Level of Significance*)
- b) Derajat kebebasan (*Degree of Freedom*), $df = n - 2$ dimana n = jumlah data pasangan

4. *Pendefinisian daerah penolakan dan daerah kritis*

Daerah penerimaan dan penolakan dibatasi oleh nilai kritis (t_{cr}).

5. *Pernyataan aturan keputusan (Decision Rule)*

Terima H_1 dan tolak H_0 apabila perbedaan antara kemiringan sampel (b) dan kemiringan data yang dihipotesiskan (B_{Ho}) berada di daerah penolakan. Apabila yang terjadi adalah sebaliknya, maka terima H_0 .

6. *Perhitungan Rasio Uji (RU)*

Rumus RU adalah:

$$RU_t = t_{test} = \frac{b - B_{Ho}}{s_b}$$

Dimana:

$$s_b = \frac{s_{y,x}}{\sqrt{\sum(x^2) - \frac{(\sum x)^2}{n}}}$$

7. *Pengambilan keputusan secara statistik*

Apabila nilai RU berada di bawah daerah penerimaan, maka hipotesis nol diterima. Sedangkan apabila berada di daerah penolakan maka hipotesis nol ditolak.

Setelah seluruh langkah-langkah uji- t dilakukan, maka hubungan antara variabel x dan y yang ditandai dengan kemiringan garis regresi dapat diketahui. Sehingga apabila terdapat hubungan antara kedua variabel tersebut

berarti terdapat *trend* pada grafik (Gambar 4.8). Sedangkan apabila tidak ditemukan hubungan antara variabel x dan y , maka dapat dikatakan *trend* pada grafik tidak ada.

Analisis trend pada titik-titik lainnya dapat dilihat pada Lampiran B. Untuk kesimpulan keseluruhan titik dirangkum pada tabel berikut ini.

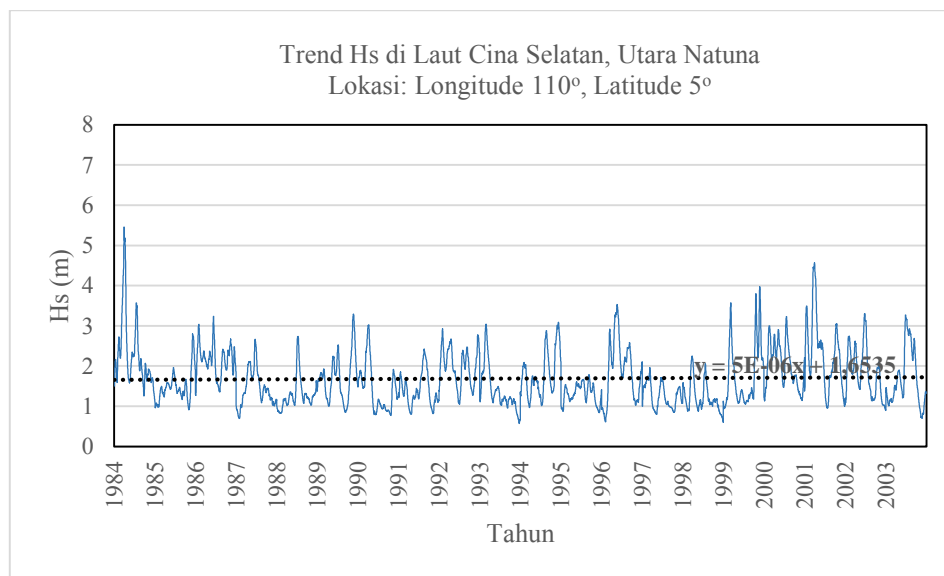
Tabel 4.2 Trend Tingkat Kenaikan dan Penurunan Rata-rata Hs

| Lokasi | Trend (cm/tahun) |
|----------|------------------|
| Titik 1 | -0,3585 |
| Titik 2 | -0,1195 |
| Titik 3 | -0,0717 |
| Titik 4 | 0,3585 |
| Titik 5 | -0,1195 |
| Titik 6 | 0,05975 |
| Titik 7 | 0,1195 |
| Titik 8 | -0,478 |
| Titik 9 | -0,00598 |
| Titik 10 | 0,238 |
| Titik 11 | 0,1195 |
| Titik 12 | 0,8365 |
| Titik 13 | -0,478 |
| Titik 14 | -0,478 |
| Titik 15 | 0,5975 |
| Titik 16 | 0,239 |

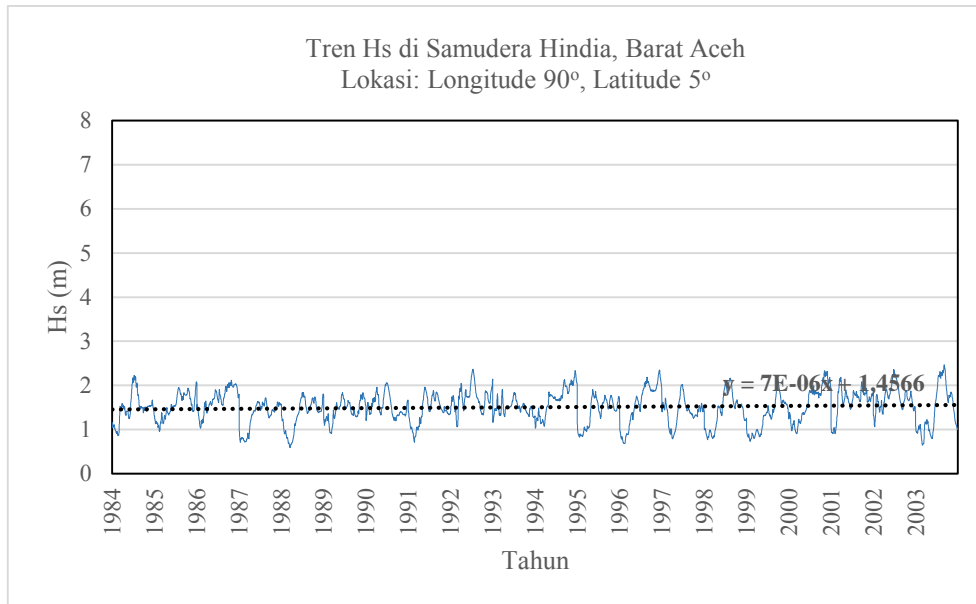
Pada tabel 4.2 dapat diketahui bahwa nilai kenaikan dan penurunan rata-rata Hs pada titik-titik tersebut beraneka ragam. Beberapa hasil perhitungan menunjukkan bahwa rata-rata Hs mengalami kenaikan, seperti yang dialami oleh titik 12, tepatnya pada koordinat Longitude 250° , Latitude -60° yang berlokasi di Samudera Pasifik Selatan. Pada lokasi tersebut terdapat kenaikan rata-rata Hs sebesar 0,8365 cm/tahun. Beberapa titik lainnya juga mengalami kenaikan, terutama di laut bagian selatan seperti di titik 4, 6, 7, 10, 11, 15 dan 16. Selain itu juga terdapat titik-titik lain yang mengalami penurunan yang sebagian besar berlokasi di laut bagian utara.

4.2.2 Trend Hs Perbulan Selama 1984-2003 di Sekitar Perairan Indonesia

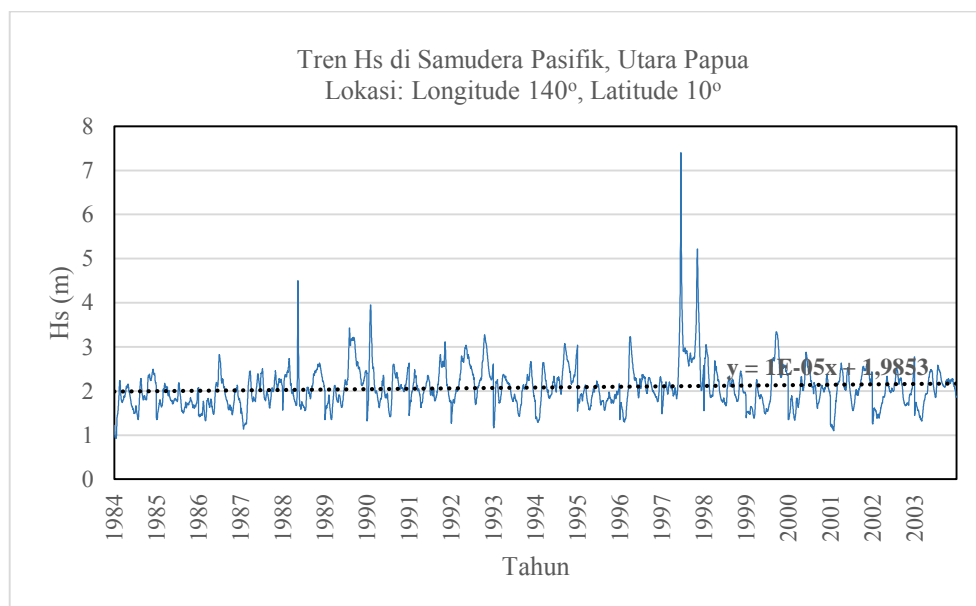
Trend Hs di sekitar perairan Indonesia akan dianalisa secara bulanan (*monthly*). Titik yang diambil pada analisa Hs ini sama seperti analisa trend rata-rata Hs di perairan sekitar Indonesia, yaitu titik 1, 2, 3 dan titik 4. Pada analisa trend Hs ini, data yang digunakan untuk membuat grafik adalah data tinggi gelombang hasil dari model WAM yang berupa data Hs per jam pada bulan Januari selama 20 tahun yang berjumlah 14860 data tinggi gelombang. Berikut ini akan ditampilkan empat grafik trend Hs pada bulan Januari di lokasi yang berbeda.



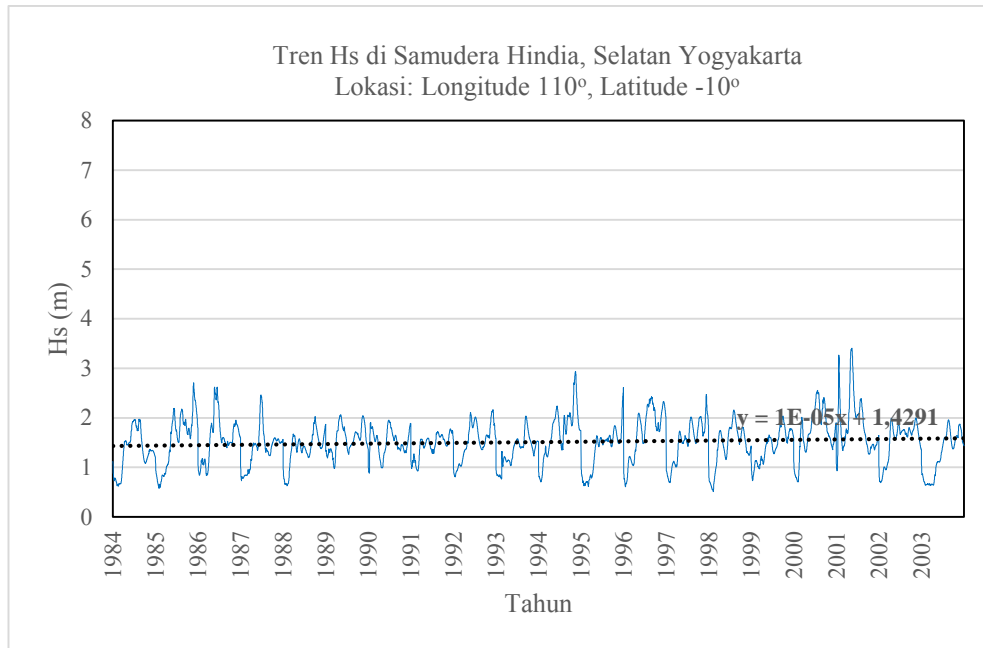
Gambar 4.10 Grafik Trend Hs di Laut Cina Selatan, longitude 110°, latitude 5° pada bulan Januari



Gambar 4.11 Grafik Trend Hs di Samudera Hindia, longitude 90°, latitude 5° pada bulan Januari



Gambar 4.12 Grafik Trend Hs di Samudera Pasifik, Longitude 140°, latitude 5° pada bulan Januari



Gambar 4.13 Grafik Trend Hs di Samudera Hindia, longitude 110 °, latitude -10 ° pada bulan Januari

Garis regresi menunjukkan bahwa trend rata-rata Hs pada titik 1, 2, 3 dan 4 mengalami kenaikan dari tahun 1984 hingga tahun 2003. Dari grafik diatas kemudian dicari trend linier Hs pada masing-masing grafik dalam kurun waktu 20 tahun dengan menggunakan persamaan garis linier sebagai berikut:

$$y = a + bx$$

Dimana:

y = variabel terikat yang akan dicari, dalam perhitungan ini yang dimaksud adalah trend rata-rata Hs

a = titik potong garis regresi pada sumbu y

b = gradien garis regresi

x = nilai variabel bebas yaitu waktu, dalam perhitungan ini yang dimaksud adalah jumlah waktu atau jumlah jam selama 20 tahun pada bulan Januari.

Setelah persamaan garis diketahui, langkah selanjutnya adalah menghitung nilai maksimum dan nilai minimum dengan memasukkan jumlah

jam 1 untuk nilai minimum dan jumlah jam 14860 untuk nilai maksimum ke dalam variabel x. Lalu untuk mendapatkan trend rata-rata Hs pada koordinat yang ditinjau, maka digunakan persamaan berikut:

$$\text{Trend per - tahun} = \frac{\text{nilai maksimum} - \text{nilai minimum}}{20}$$

Dimana:

Angka 20 menyatakan lama tahun pengamatan pada koordinat yang ditinjau

Setelah memperoleh variabel-variabel yang akan digunakan, maka dilakukan perhitungan trend pada masing-masing titik koordinat. Berikut perhitungan untuk grafik 4.10 yang berlokasi di koordinat longitude 110°, latitude 5° yaitu di daerah utara Natuna pada bulan Januari selama 20 tahun:

$$y = 0,000005 x + 1,6535$$

$$\text{Nilai minimum} : y = 0,000005 (1) + 1,6535 = 1,6535$$

$$\text{Nilai maksimum} : y = 0,000005(240) + 1,6535 = 1,7278$$

$$\begin{aligned} \text{Trend per tahun} &= \frac{1,6535-1,7278}{20} \\ &= 0,003715 \text{ m/tahun} \\ &= 0,371475 \text{ cm/tahun} \end{aligned}$$

Kemudian perhitungan untuk grafik 4.11 yang berlokasi di koordinat longitude 90°, Latitude 5° yaitu di daerah barat Aceh pada bulan Januari selama 20 tahun dapat diuraikan sebagai berikut:

$$y = 0,000007 x + 1,4566$$

$$\text{Nilai minimum} : y = 0,000007 (1) + 1,4566 = 1,45660$$

$$\text{Nilai maksimum} : y = 0,000007(240) + 1,4566 = 1,56062$$

$$\begin{aligned} \text{Trend per tahun} &= \frac{1,45660-1,56062}{20} \\ &= 0,005201 \text{ m/tahun} \\ &= 0,520065 \text{ cm/tahun} \end{aligned}$$

Untuk lokasi berikutnya, yaitu di daerah utara Papua atau tepatnya di titik koordinat longitude 140°, latitude 10° seperti pada gambar 4.12, berikut perhitungan trend tinggi gelombang yang diperoleh:

$$y = 0,00001 x + 1,9853$$

$$\text{Nilai minimum} : y = 0,00001 (1) + 1,9853 = 0,00743$$

$$\text{Nilai maksimum} : y = 0,00001(240) + 1,9853 = 0,74295$$

$$\text{Trend per tahun} = \frac{0,00743-0,74295}{20}$$

$$= 0,00743 \text{ m/tahun}$$

$$= 0,74295 \text{ cm/tahun}$$

Berikut perhitungan untuk grafik 4.13 yang berlokasi di koordinat Longitude 110°, Latitude -10° yaitu di daerah selatan Yogyakarta pada bulan januari selama 20 tahun:

$$y = 0,00001 x + 1,4291$$

$$\text{Nilai minimum} : y = 0,00001 (1) + 1,4291 = 1,4291$$

$$\text{Nilai maksimum} : y = 0,00001(240) + 1,4291 = 1,5777$$

$$\text{Trend per tahun} = \frac{1,4291-1,5777}{20}$$

$$= 0,00743 \text{ m/tahun}$$

$$= 0,74295 \text{ cm/tahun}$$

Hasil analisa trend Hs secara bulanan pada empat titik lokasi di sekitar perairan Indonesia dapat dilihat pada tabel 4.3 dibawah ini. Trend Hs di titik-titik tersebut bervariasi setiap bulannya. Pada bulan Januari, keempat titik lokasi tersebut mengalami kenaikan Hs sebesar 0,3 hingga 0,7 cm/tahun. Untuk bulan Februari dan maret, trend Hs bernilai negatif yang artinya titik lokasi tersebut mengalami penurunan Hs. Sedangkan pada titik 3 yang berlokasi di Samudera Pasifik, tepatnya di utara Pulau Papua, mengalami kenaikan Hs yaitu sebesar 0,40317 cm/tahun pada bulan Februari dan 0,29758 cm/tahun untuk bulan Maret. Pada bulan-bulan berikutnya, trend Hs di keempat titik tersebut juga mengalami kenaikan dan penurunan. Trend Hs

yang terjadi seperti pada tabel 4.3 ini berbeda-beda tergantung pada lokasi yang ditinjau.

Tabel 4.3 Trend Hs bulanan di sekitar perairan Indonesia

| Bulan | Trend Hs di sekitar Perairan Indonesia (cm/tahun) | | | |
|-----------|---|----------------|------------------|-------------------|
| | Titik 1 | Titik 2 | Titik 3 | Titik 4 |
| | Long 110, Lat 5 | Long 90, Lat 5 | Long 140, Lat 10 | Long 110, Lat -10 |
| Januari | 0,371475 | 0,520065 | 0,74295 | 0,74295 |
| Februari | -0,20159 | -0,13439 | 0,40317 | -0,67195 |
| Maret | -0,74395 | -0,22319 | 0,29758 | -0,52077 |
| April | -0,71995 | -0,28798 | -0,71995 | 0,43197 |
| Mei | 0,44637 | -0,59516 | 0,52007 | -0,14879 |
| Juni | -0,21599 | -0,71995 | -0,21599 | -0,0216 |
| Juli | 0,29758 | 0,371975 | -0,22319 | 0,371975 |
| Agustus | -0,44637 | -0,22318 | -0,52077 | -0,59516 |
| September | -0,71995 | -0,71995 | -0,50397 | 0,215985 |
| Oktober | -0,14879 | 0,29758 | -0,44637 | 0,074395 |
| November | -0,14399 | 0,28798 | 0,28978 | 0,14399 |
| Desember | -1,4868 | -0,52038 | 0,52038 | 0,3717 |

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Wilayah laut dengan musim dingin (*cold season*) yang bertemperatur rendah cenderung memiliki Hs lebih tinggi (0,37-4,89 m) sedangkan wilayah laut dengan musim yang lebih hangat cenderung memiliki Hs lebih rendah (0,29-2,25 m) kemudian pada wilayah laut bagian selatan (*southern ocean*), Hs selalu tinggi di setiap musim (0,98-4,89 m).
2. Trend tinggi gelombang laut berdasarkan data *hindcasting* memiliki kecenderungan yang terus meningkat di laut bagian selatan dibandingkan dengan dengan wilayah laut bagian utara yang sebagian besar mengalami penurunan rata-rata Hs. Kenaikan dan penurunan trend selama 20 tahun tidak begitu signifikan. Posisi koordinat longitude dan latitude yang ditinjau mempengaruhi naik turunnya trend.

5.2 Saran

1. Pemodelan WAM lebih baik digunakan pada laut dalam, sehingga untuk perairan dangkal yang dekat dengan daratan, lebih baik menggunakan pemodelan gelombang yang lain, contohnya SWAN.
2. Grid yang digunakan dalam pemodelan sebaiknya menggunakan resolusi yang lebih kecil agar output hasil pemodelan semakin detil. Namun apabila menggunakan resolusi grid yang lebih kecil, output pemodelan akan memiliki kapasitas yang lebih besar.
3. Pada analisa trend, sebaiknya dilakukan uji kemiringan (*slope*) untuk mengetahui seberapa besar kemiringan garis regresi.

DAFTAR PUSTAKA

- Caries, Sofia., Van Swail., 2004, “Global Wave Climate Trend and Variability Analysis”, *8th International Workshop on Wave Hindcasting and Forecasting*, Hawaii.
- Eichelberger, Scott., James McCAA., Bart Nijssen., Andrew Wood., 2008, “Climate Change Effects on Wind Speed”. *North American Wind Power*. Oxford: Zackin Publications Inc.
- Diposaptono, Subandono., Budiman., Firdaus Agung., 2009, *Menyiasati Perubahan Iklim di Wilayah Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil*. Bogor: Sarana Komunikasi Utama.
- Djarmiko, Eko Budi., 2012, *Perilaku dan Operabilitas Bangunan Laut diatas Gelombang Acak*, Surabaya: ITS Press.
- Fitriah, Nurul., 2013, *Hindcasting Gelombang Menggunakan Data Angin dari MRI-JMA (Meteorology Research Institute/Japan Meteorology Agency) dalam Kurun Waktu 1989-2003*, Tugas Akhir, Jurusan Teknik Kelautan Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Harinaldi, 2005, *Statistika Untuk Teknik dan Sains*, Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Hasselmann, S., K. Hasselmann, J. H. Allender, dan T.P. Barnett., 1985, “Computations and parameterizations of the nonlinear energy transfer in a gravity wave spectrum. Part II. Parameterizations of the nonlinear energy transfer for application in wave models”, *Journal of Physical Oceanography*, 15:1378-1391.
- Hemer, M. A., J.A. Church., J.R. Hunter., 2007, “Waves and Climate Change on the Australian Coast”, *Jornal of Coastal Research*, Special Issue, pp. 432-437.
- Holthuijsen, Leo, H. dan Booij, Nico., 2007, *A Grid Model for Shallow Water Waves*.
- IPCC, 2007, *Climate Change 2007: Synthesis Report*, Valencia.

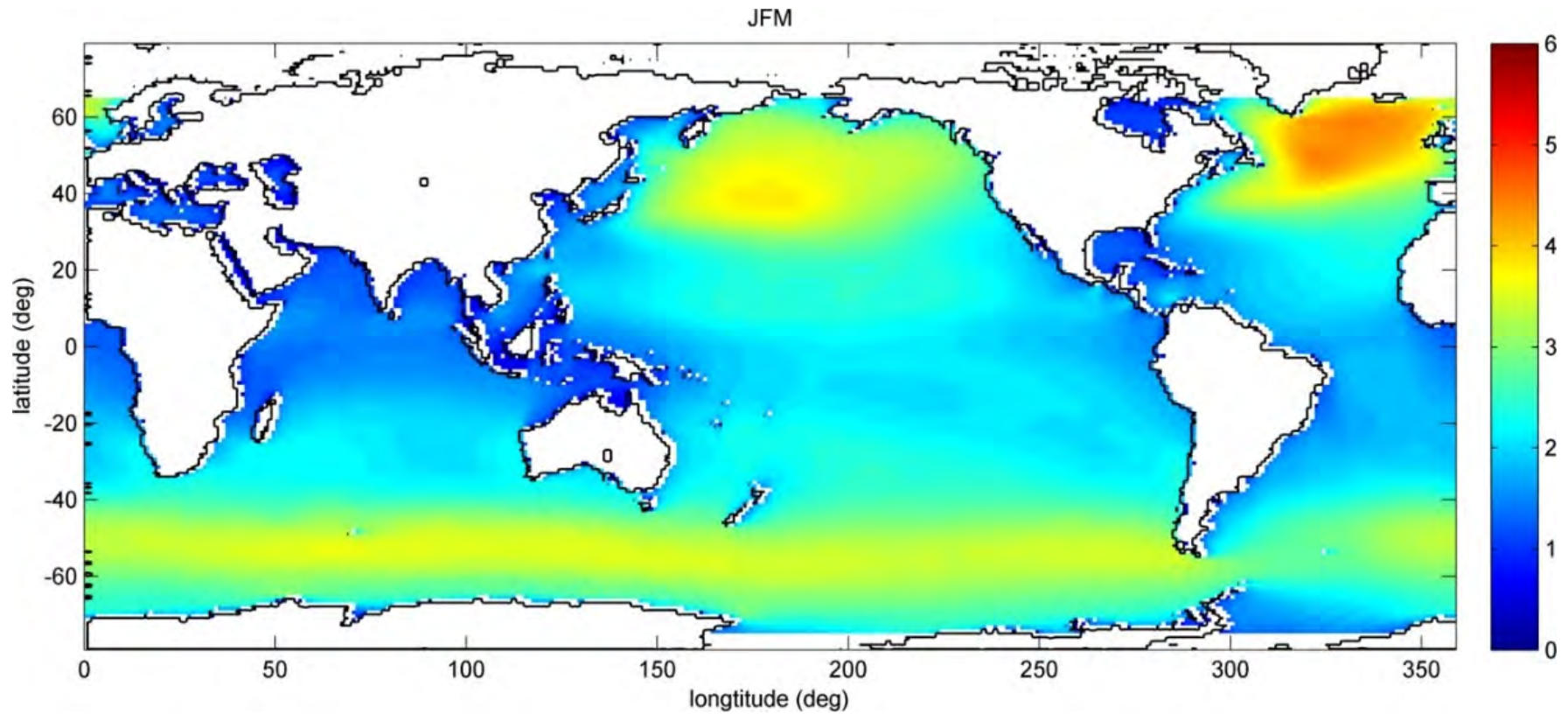
- Kitoh, A., Ose T., Kurihara K., Kusunoki S., Sugi M., 2009, *KAKUSHIN Team-3 Modeling Group: Projection of changes infuture weather extremes*.
- Jansen, P. A. E. M., (1991). Quasi-Linear Theory of Wind Wave Generation Applied to Wave Forecasting, *Journal od Physical Oceanography*, 21, 1631-1642.
- Lucianto, Andrean E., 2011, Pola Aliran Angin di Bumi, diakses dari <http://zonegeologi.blogspot.com/2011/02/pola-aliran-angin-global-di-bumi.html>, diakses pada tanggal 10 Agustus 2014 pukul 10.35 WIB.
- Mizuta, Ryo., Yoshimura, Hiromasa., Murakami, Hiroyuki., Matsueda, Mio., Endo, Hirokazu., Ose, Tomoaki., Kamiguchi, Kenji., Hosaka, Masahiro., Sugi, Masato., Yukimoto, Seiji., Kusunoki, Shoji., Kitoh, Akio., 2011, *Climate simulations using MRI-AGCM3.2 with 20-km 1 grid*.
- Nugroho, Sigit., 2008, *Dasar-Dasar Metode Statistika*, Jakarta: Grasindo.
- Triatmojo, Bambang., 1999, *Teknik Pantai*, Yogyakarta: Beta Offset.
- Tjasjono, Bayong., 1999, *Klimatologi Umum*, Bandung: Penerbit ITB.
- Reid, Craig., Justin Marshall., Logan, Dave., Diana Kleine., 2011, *Coral Reefs and Climate Change*, Queensland: The University of Queensland.
- Simbolon, Hotman., 2009, *Statistika*, Graha Ilmu: Yogyakarta.
- Syafputri, Ella., 2012, 20 Persen Garis Pantai Rusak, Diakses dari <http://www.antaranews.com/berita/300189/20-persen-garis-pantai-indonesia-rusak>, pada tanggal 5 Maret 2014 jam 15.21 WIB.
- Vinnem, Jan Erik., 1999, West Gamma, diakses dari http://home.versatel.nl/the_sims/rig/westgamma.htm, pada tanggal 5 Maret 2014 pukul 14.00 WIB.
- Wang, Xiaolan L., Francis W. Zwiers., Val R. Swail., 2004, “North Atlantic Ocean Wave Climate Change Scenarios for the Twenty-First Century”, *Journal of Climate*”, pp. 2638-2383.

A. Contoh output dari WAM Model

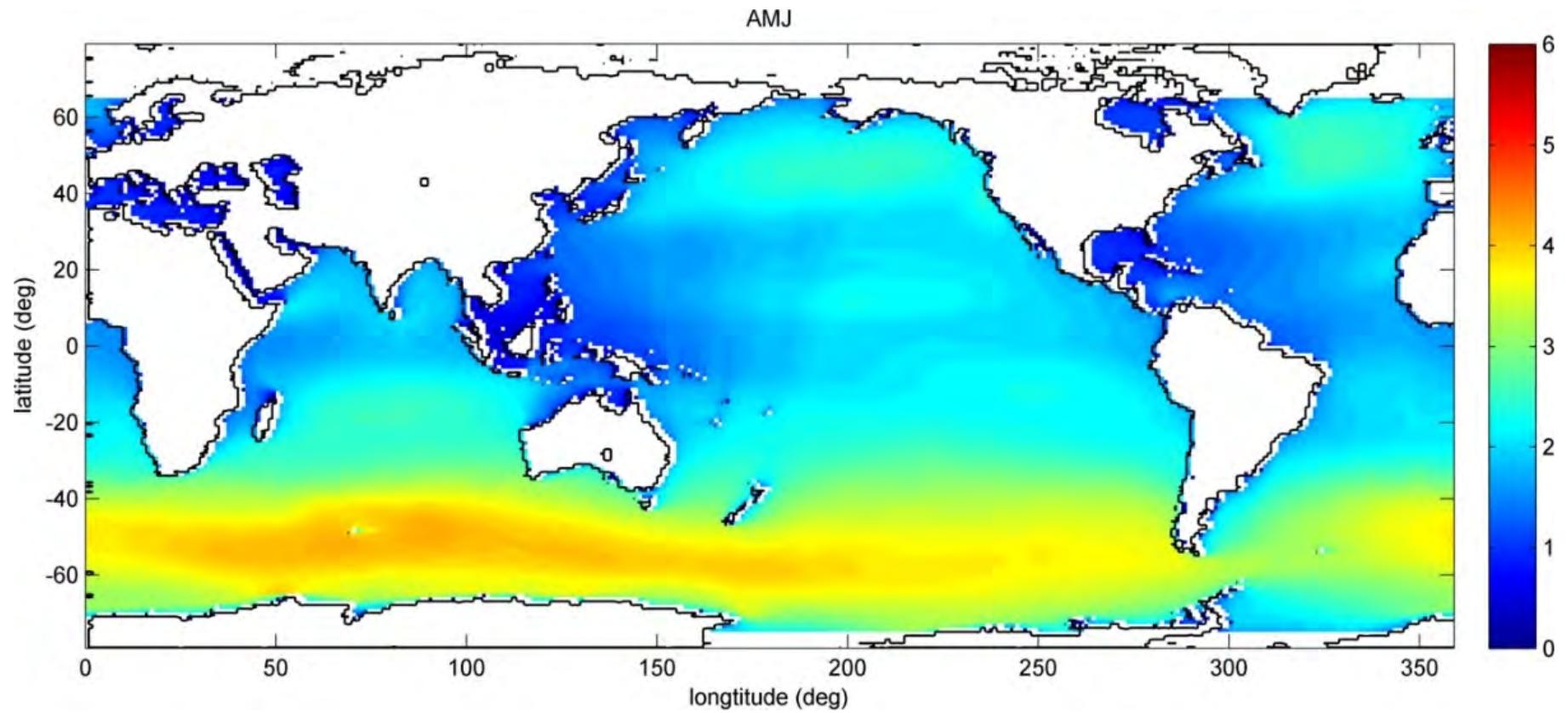
File : 198401010100OUT.surf

| Longitude | Latitude | Hs | T | Direction | Wind Speed | Wind Direction |
|-----------|----------|---------|---------|-----------|------------|----------------|
| 0.00000 | 65.00000 | 1.59619 | 4.82155 | 0.43076 | 13.09596 | 2.74321 |
| 0.00000 | 64.00000 | 2.09717 | 5.30264 | 13.60191 | 15.49459 | 12.17946 |
| 0.00000 | 63.00000 | 3.08672 | 6.11134 | 20.89746 | 20.18593 | 15.30943 |
| 0.00000 | 62.00000 | 3.83009 | 6.58269 | 356.19183 | 23.61976 | 355.21317 |
| 0.00000 | 61.00000 | 3.00593 | 6.13606 | 324.30603 | 19.49342 | 324.43661 |
| 0.00000 | 60.00000 | 2.95611 | 6.01732 | 309.95331 | 20.47828 | 315.52725 |
| 0.00000 | 59.00000 | 2.66954 | 5.81047 | 311.32141 | 19.43921 | 315.78119 |
| 0.00000 | 58.00000 | 2.68578 | 5.80617 | 298.23666 | 19.97677 | 301.75394 |
| 0.00000 | 57.00000 | 2.82626 | 5.90422 | 283.89111 | 20.30647 | 286.08713 |
| 0.00000 | 56.00000 | 2.54644 | 5.70747 | 286.33936 | 18.41768 | 287.57211 |
| 0.00000 | 55.00000 | 2.15739 | 5.40466 | 290.42810 | 16.94209 | 288.98175 |
| 0.00000 | 54.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 180.00000 | NaN | 180.00000 |
| 0.00000 | 53.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 180.00000 | NaN | 180.00000 |
| 0.00000 | 52.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 180.00000 | NaN | 180.00000 |
| 0.00000 | 51.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 180.00000 | NaN | 180.00000 |
| 0.00000 | 50.00000 | 1.56690 | 4.77706 | 287.76636 | 12.16082 | 290.38660 |
| 0.00000 | 49.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 180.00000 | NaN | 180.00000 |
| 0.00000 | 48.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 180.00000 | NaN | 180.00000 |
| 0.00000 | 47.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 180.00000 | NaN | 180.00000 |
| 0.00000 | 46.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 180.00000 | NaN | 180.00000 |
| 0.00000 | 45.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 180.00000 | NaN | 180.00000 |
| 0.00000 | 44.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 180.00000 | NaN | 180.00000 |
| 0.00000 | 43.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 180.00000 | NaN | 180.00000 |
| 0.00000 | 42.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 180.00000 | NaN | 180.00000 |
| 0.00000 | 41.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 180.00000 | NaN | 180.00000 |
| 0.00000 | 40.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 180.00000 | NaN | 180.00000 |
| 0.00000 | 39.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 180.00000 | NaN | 180.00000 |
| 0.00000 | 38.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 180.00000 | NaN | 180.00000 |
| 0.00000 | 37.00000 | 1.22695 | 4.60323 | 234.56180 | 7.89210 | 239.71835 |
| 0.00000 | 36.00000 | 1.11140 | 4.60805 | 210.33455 | 6.09636 | 207.54184 |
| 0.00000 | 35.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 180.00000 | NaN | 180.00000 |
| 0.00000 | 34.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 180.00000 | NaN | 180.00000 |
| 0.00000 | 33.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 180.00000 | NaN | 180.00000 |
| 0.00000 | 32.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 180.00000 | NaN | 180.00000 |
| 0.00000 | 31.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 180.00000 | NaN | 180.00000 |
| 0.00000 | 30.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 180.00000 | NaN | 180.00000 |
| 0.00000 | 29.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 180.00000 | NaN | 180.00000 |
| 0.00000 | 28.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 180.00000 | NaN | 180.00000 |
| 0.00000 | 27.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 180.00000 | NaN | 180.00000 |
| 0.00000 | 26.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 180.00000 | NaN | 180.00000 |
| 0.00000 | 25.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 180.00000 | NaN | 180.00000 |
| 0.00000 | 24.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 180.00000 | NaN | 180.00000 |
| 0.00000 | 23.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 180.00000 | NaN | 180.00000 |
| 0.00000 | 22.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 180.00000 | NaN | 180.00000 |
| 0.00000 | 21.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 180.00000 | NaN | 180.00000 |
| 0.00000 | 20.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 180.00000 | NaN | 180.00000 |
| 0.00000 | 19.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 180.00000 | NaN | 180.00000 |
| 0.00000 | 18.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 180.00000 | NaN | 180.00000 |

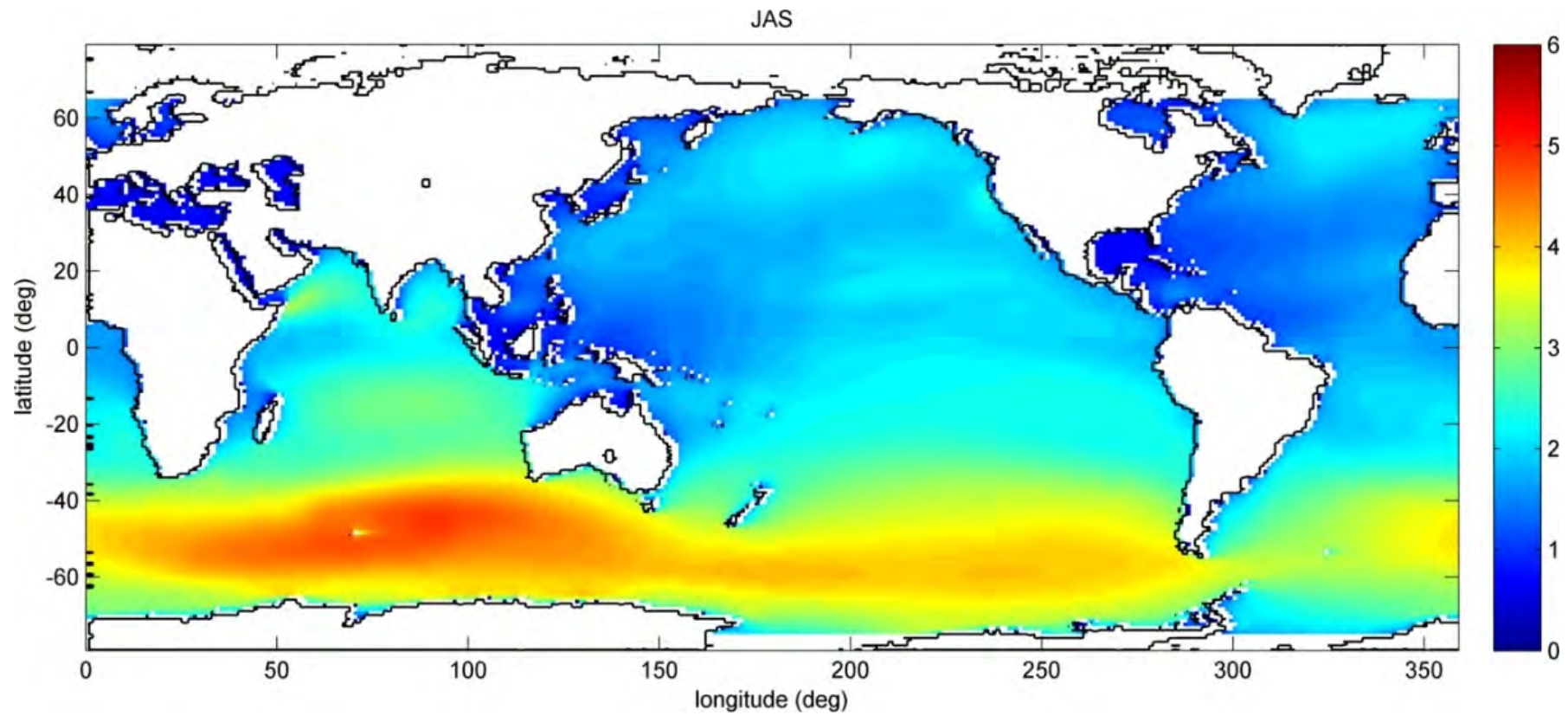
B. Peta Rata-rata Tinggi Gelombang Signifikan (Hs) Per tiga bulan Selama 1984-2003



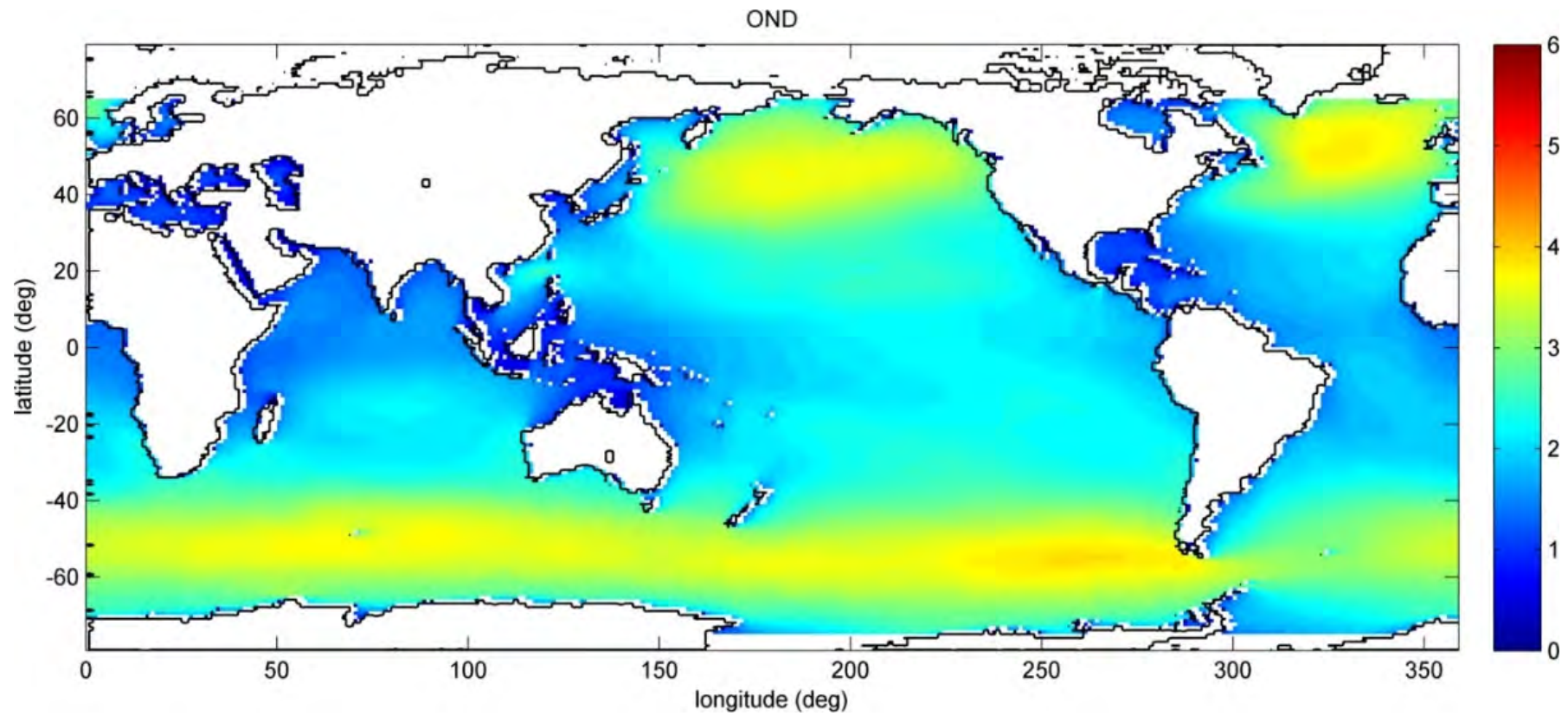
Gambar 1. Peta rata-rata H_s pada bulan Januari, Februari dan Maret selama 1984-2003



Gambar 2. Peta rata-rata Hs pada bulan April, Mei dan Juni selama 1984-2003

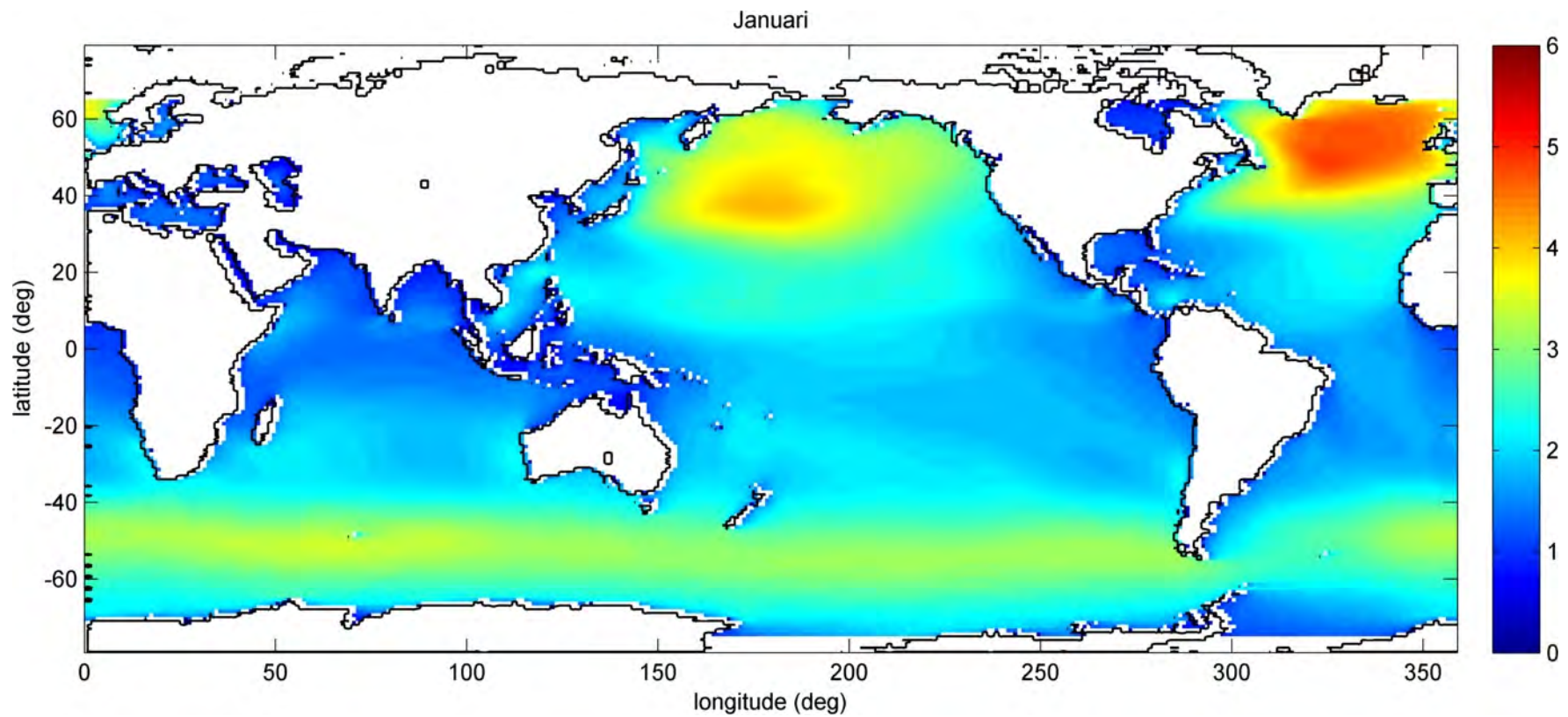


Gambar 3. Peta rata-rata Hs pada bulan Juli, Agustus dan September selama 1984-2003

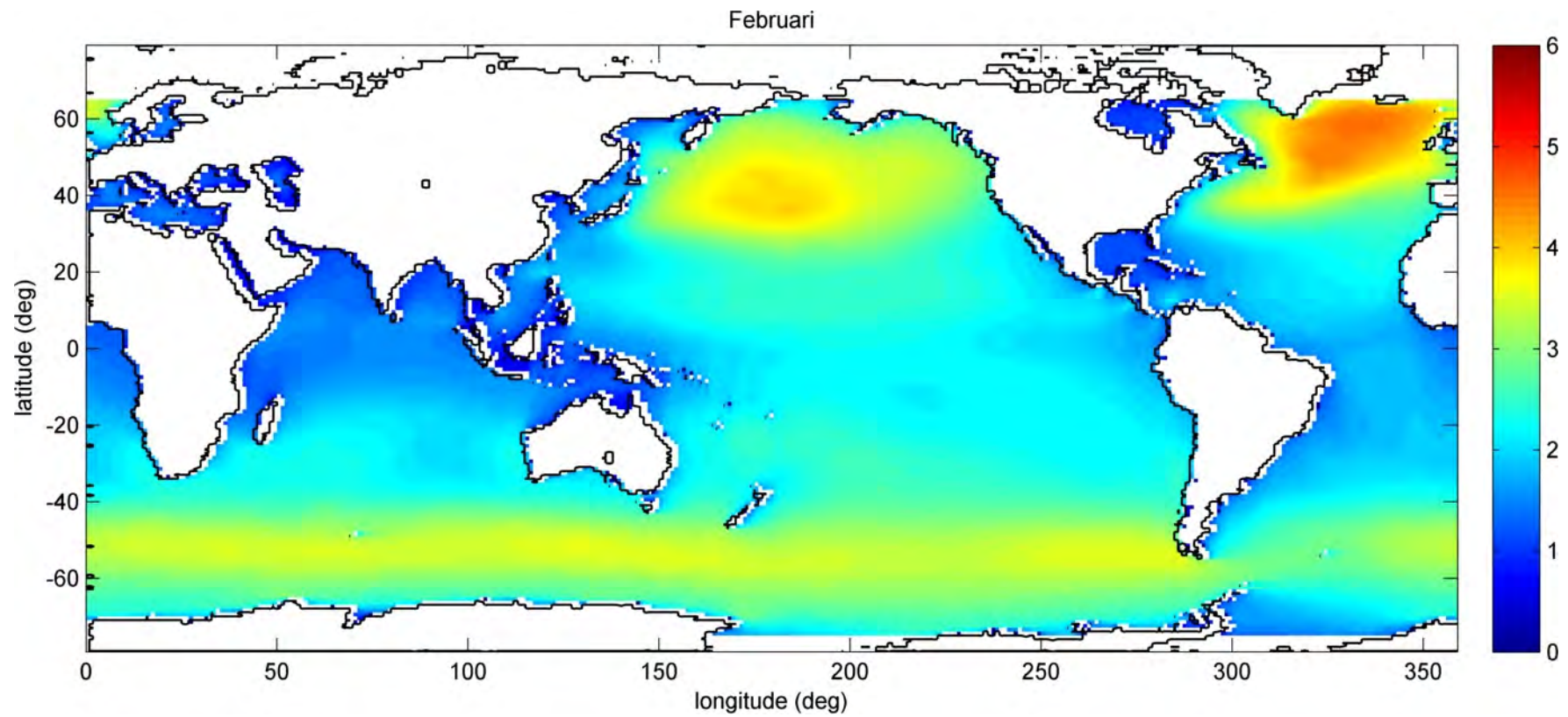


Gambar 4. Peta rata-rata Hs pada bulan Oktober, November dan Desember selama 1984-2003

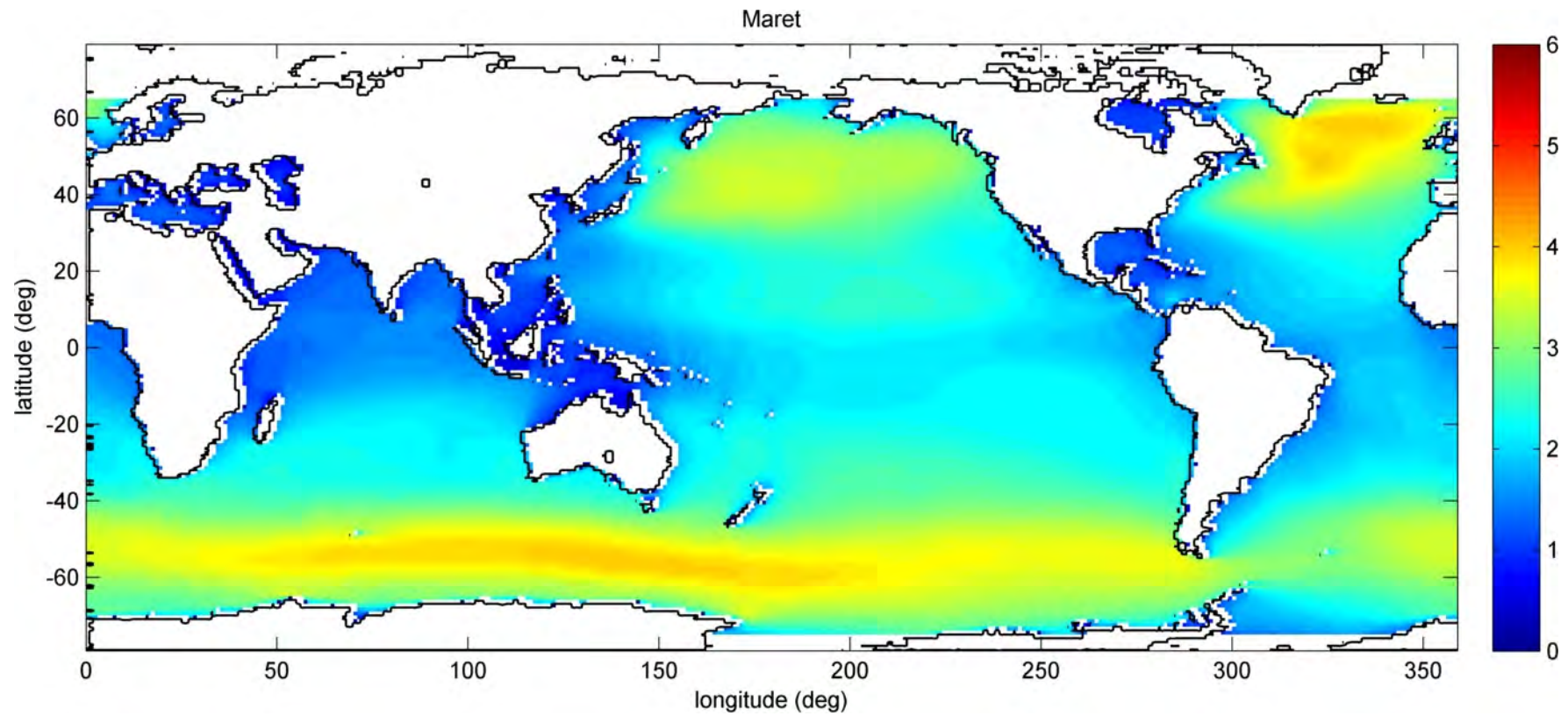
C. Peta Rata-rata Tinggi Gelombang Signifikan (H_s) Secara Bulanan (*Monthly*) Selama 1984-2003



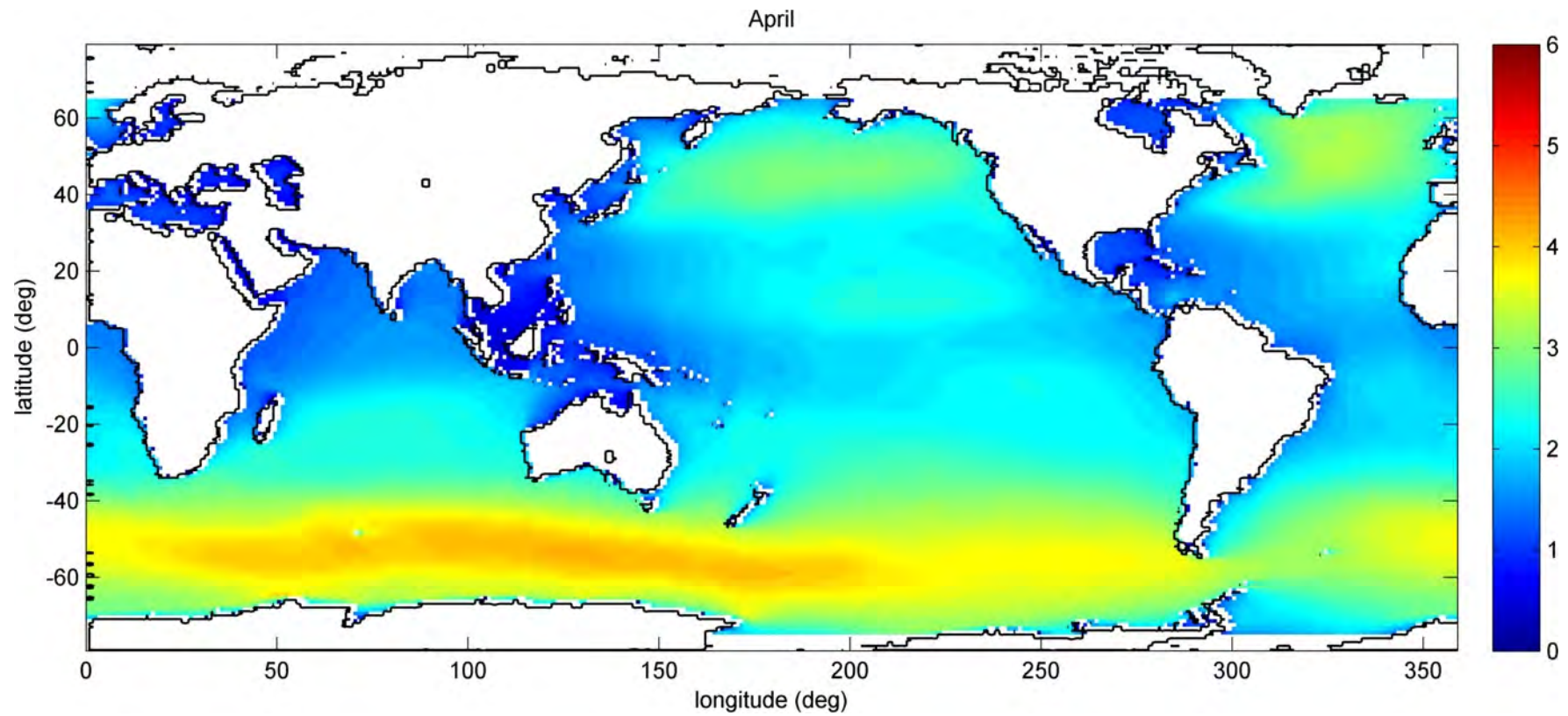
Gambar 5. Peta rata-rata H_s pada bulan Januari selama 1984-2003



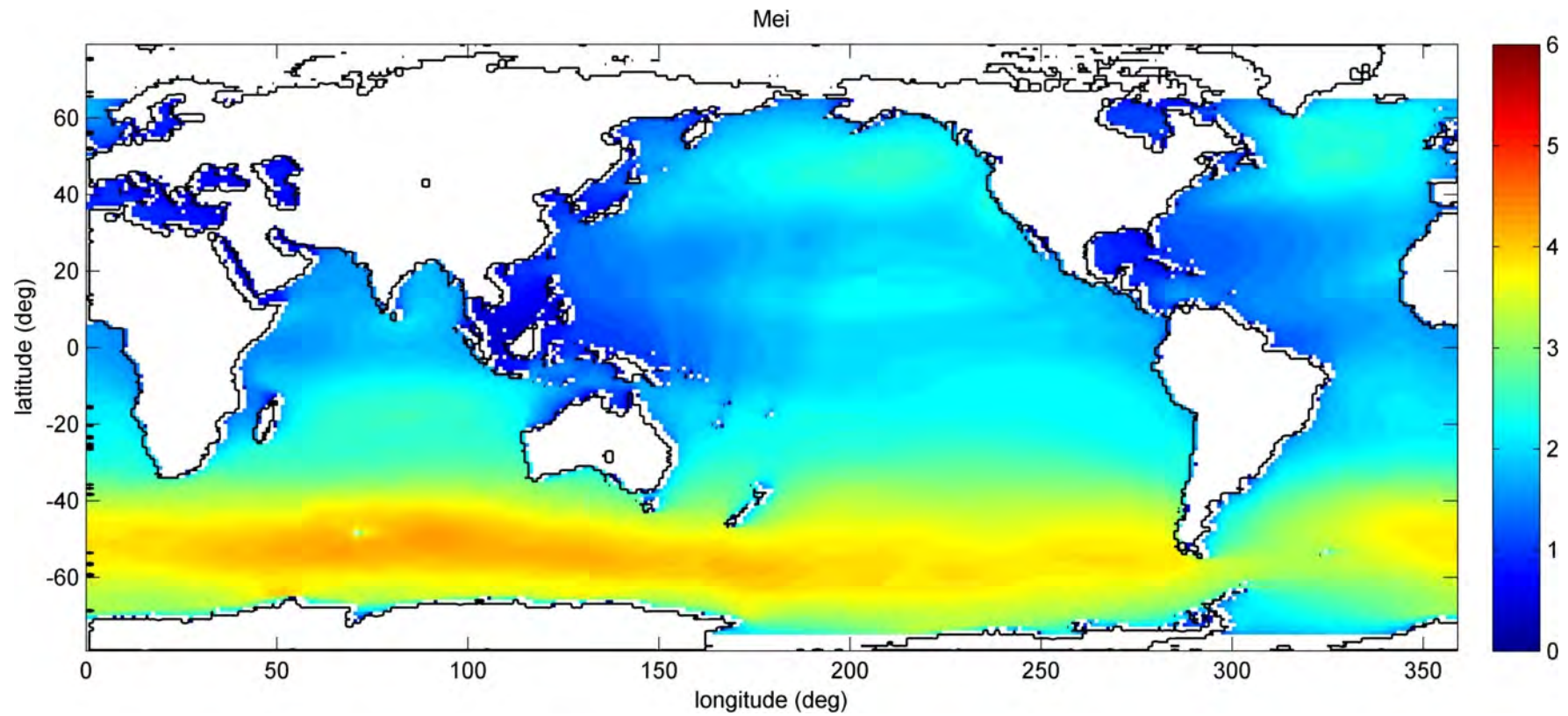
Gambar 6. Peta rata-rata Hs pada bulan Februari selama 1984-2003



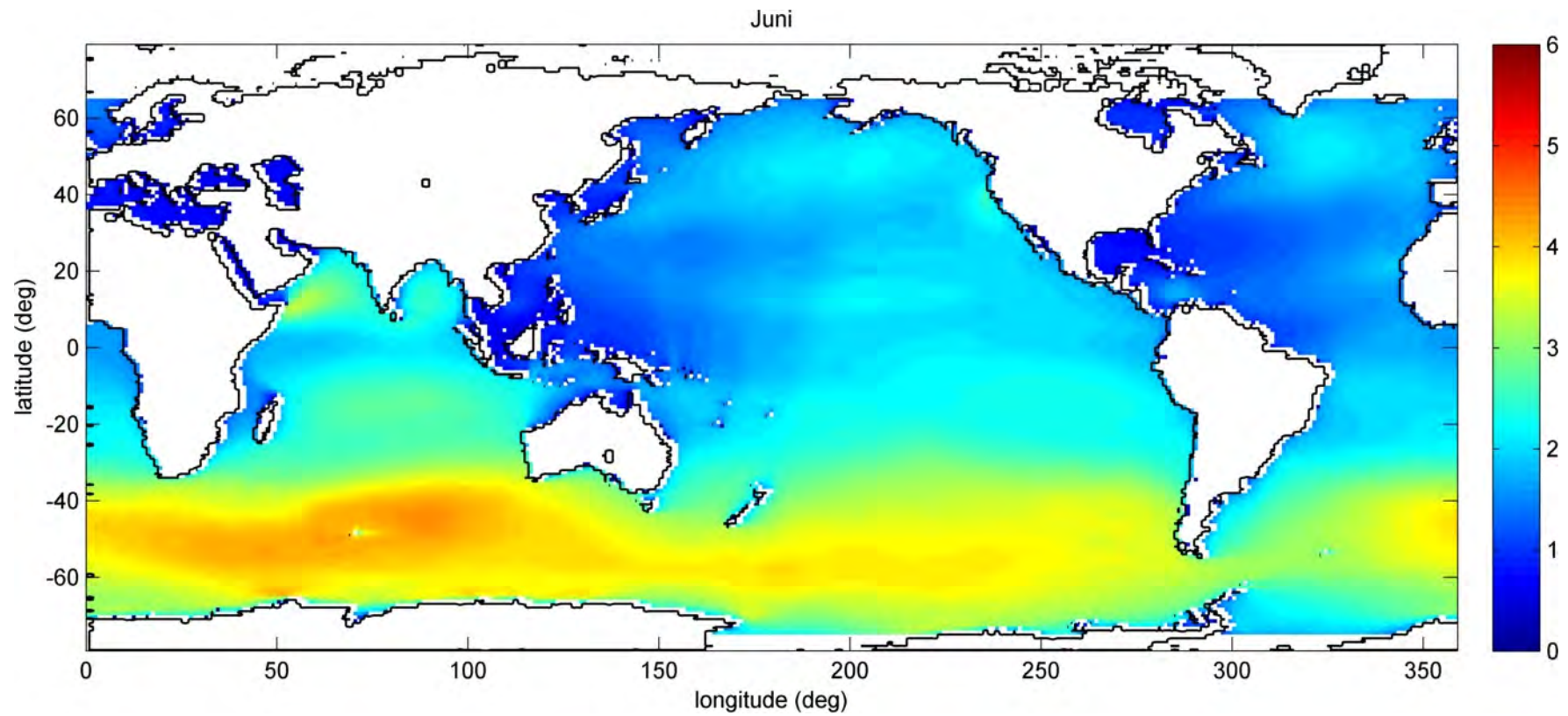
Gambar 7. Peta rata-rata Hs pada bulan Maret selama 1984-2003



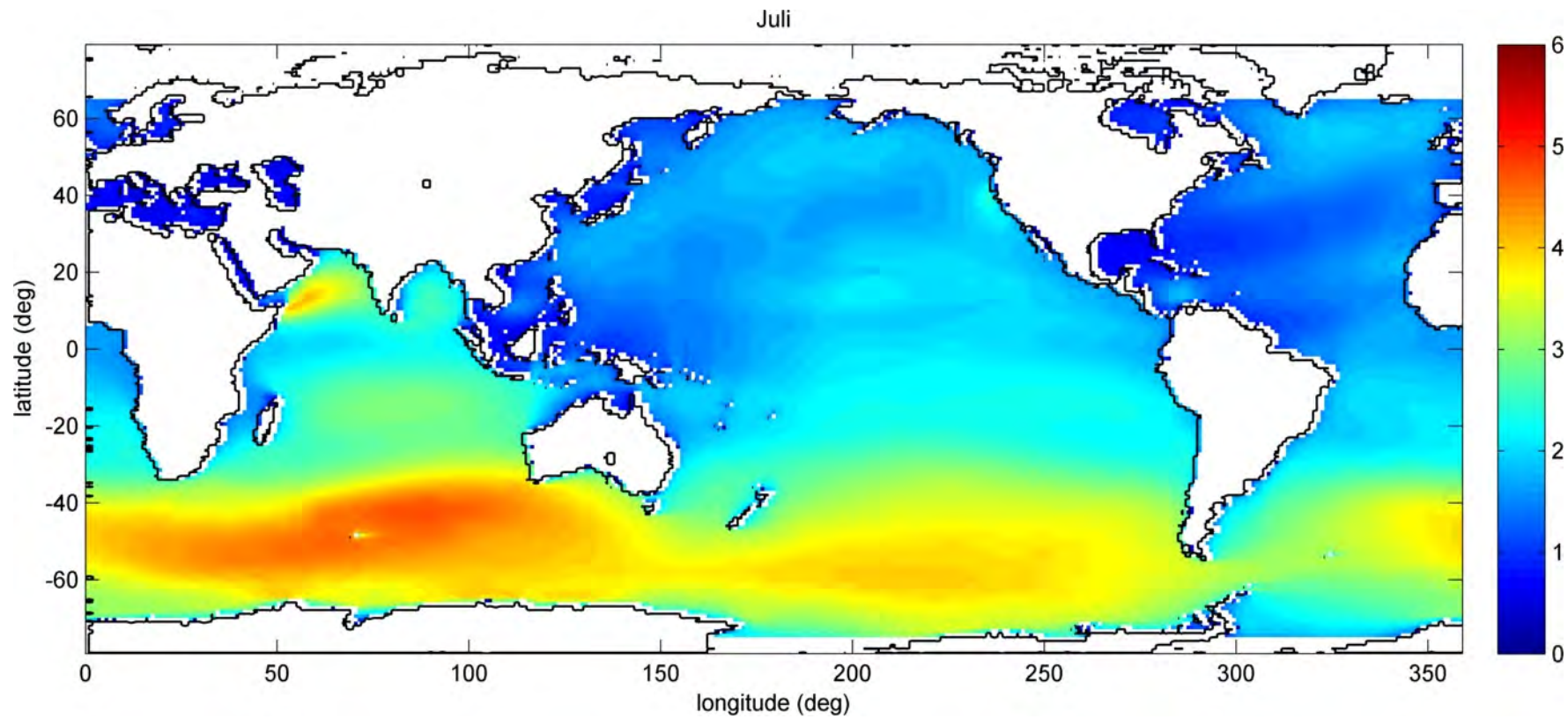
Gambar 8. Peta rata-rata H_s pada bulan April selama 1984-2003



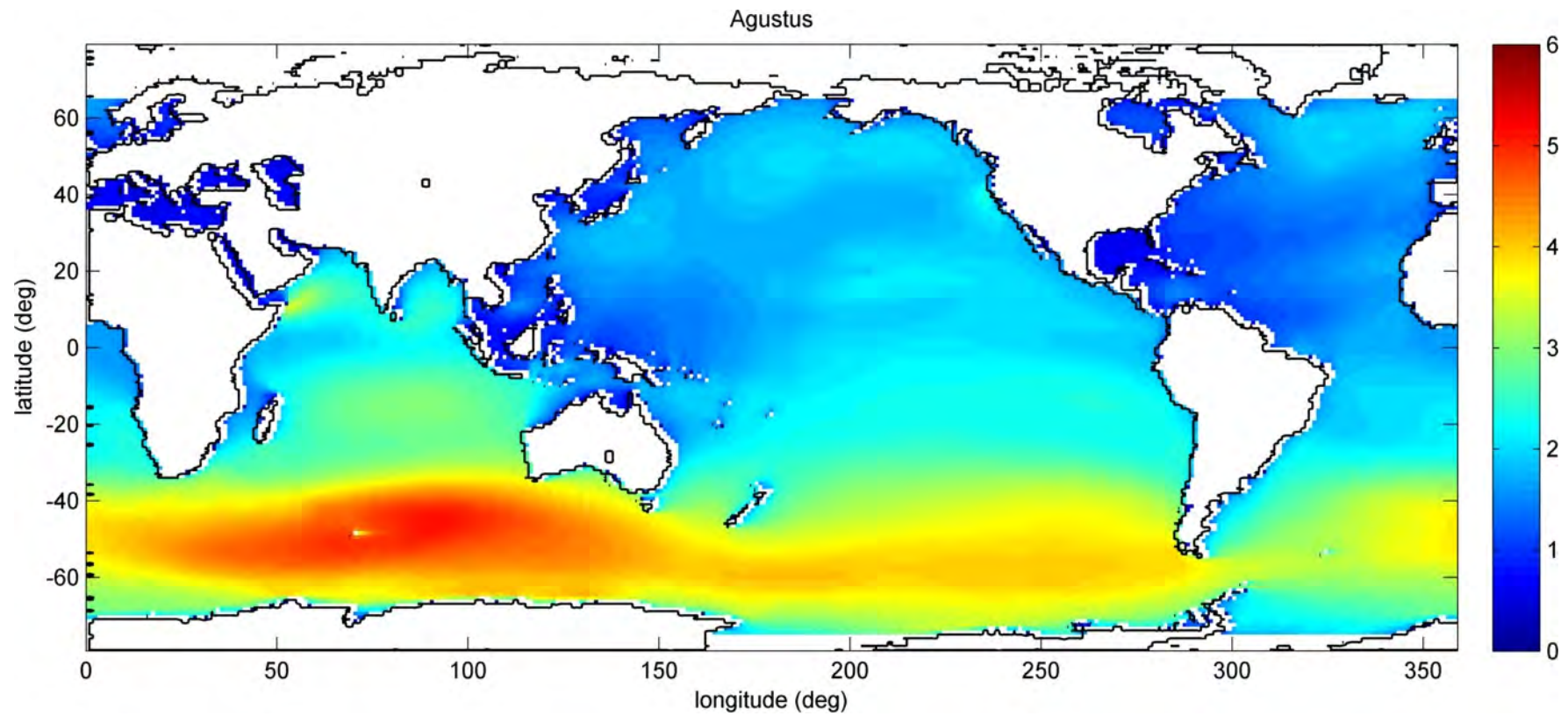
Gambar 9. Peta rata-rata Hs pada bulan Mei selama 1984-2003



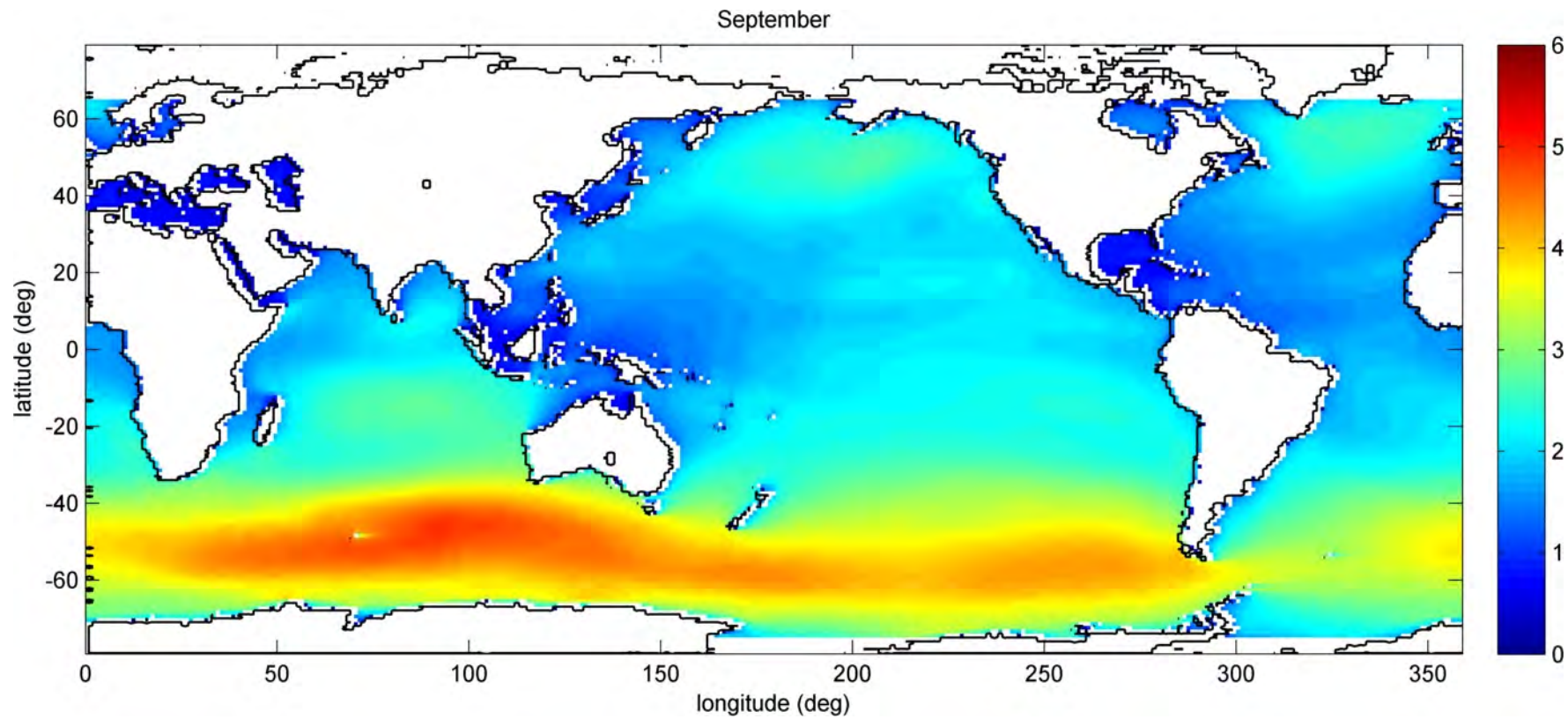
Gambar 10. Peta rata-rata H_s pada bulan Juni selama 1984-2003



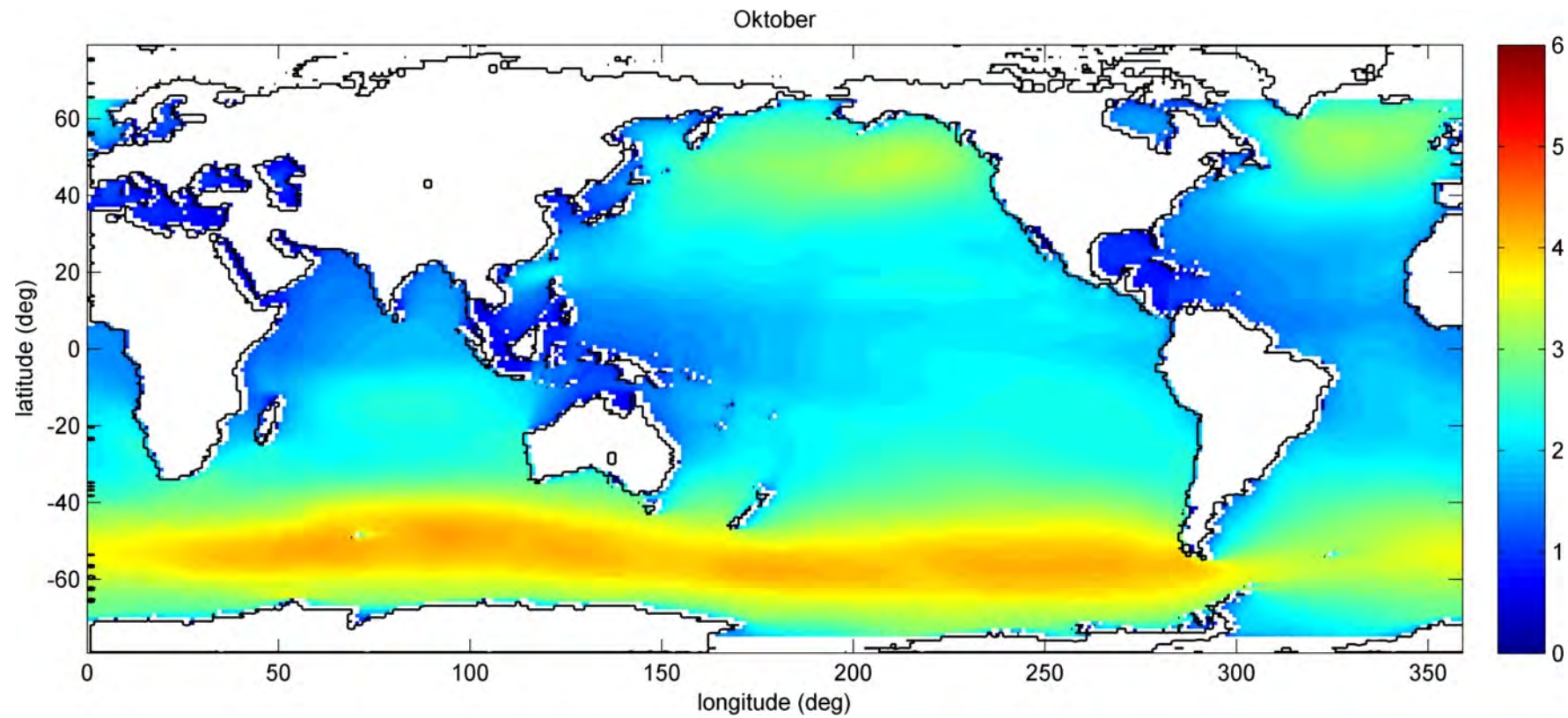
Gambar 11. Peta rata-rata Hs pada bulan Juli selama 1984-2003



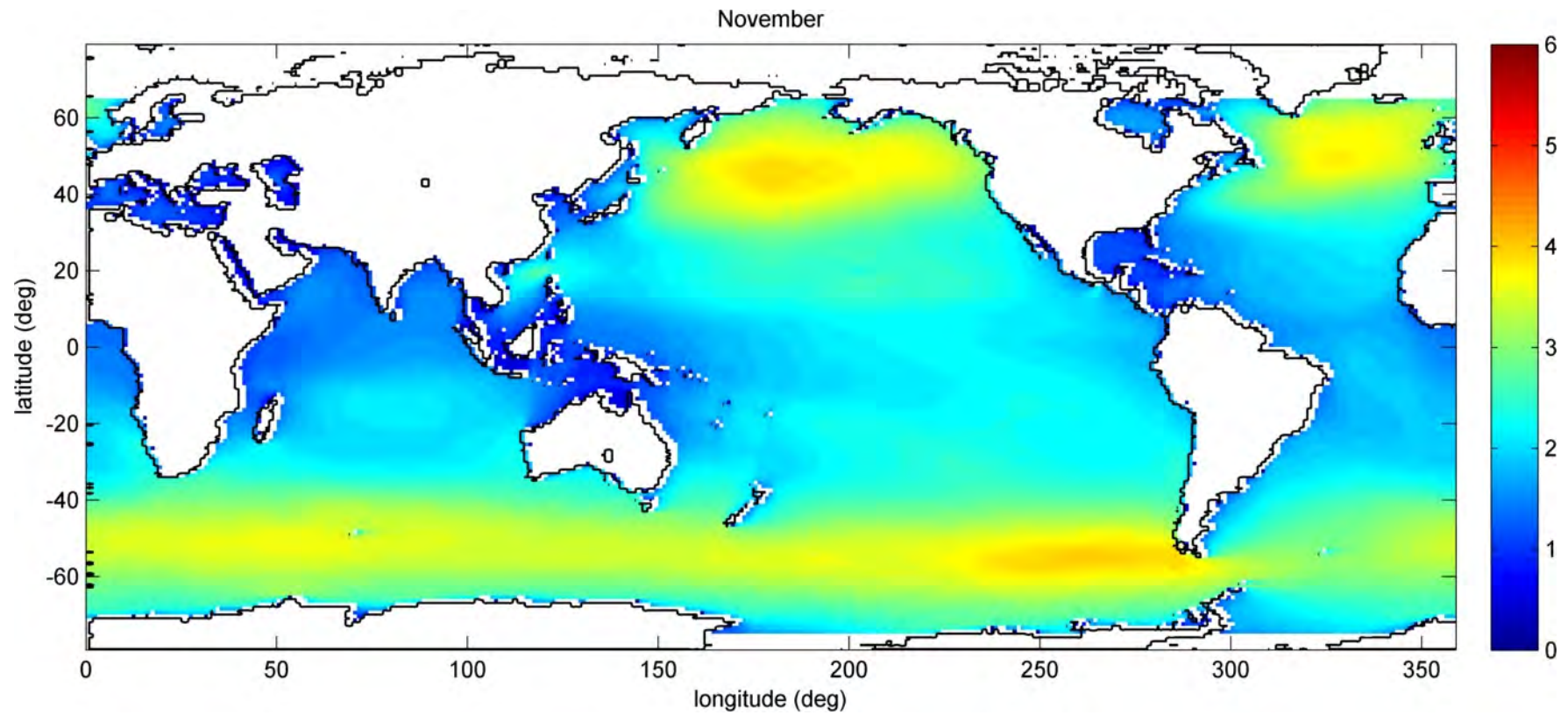
Gambar 12. Peta rata-rata Hs pada bulan Agustus selama 1984-2003



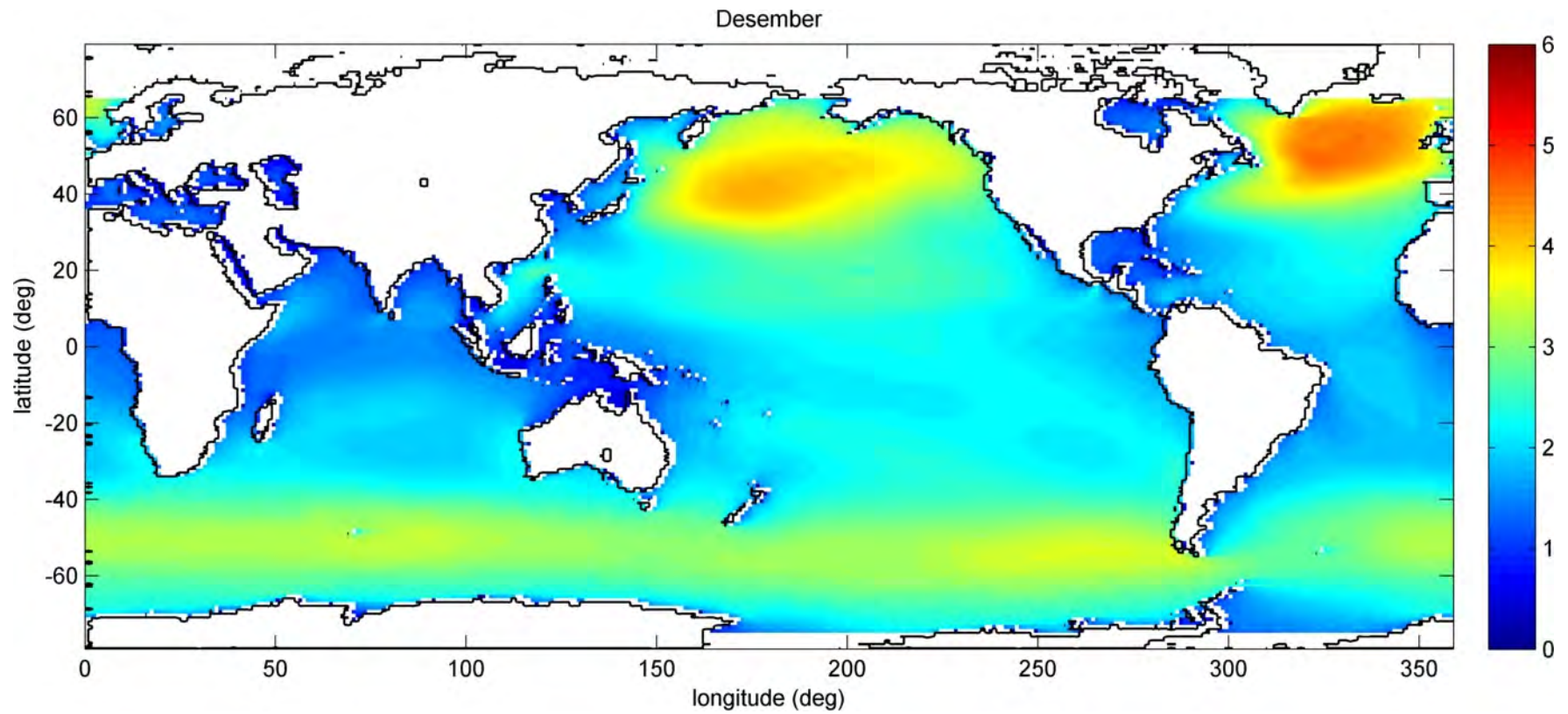
Gambar 13. Peta rata-rata Hs pada bulan September selama 1984-2003



Gambar 14. Peta rata-rata H_s pada bulan Oktober selama 1984-2003

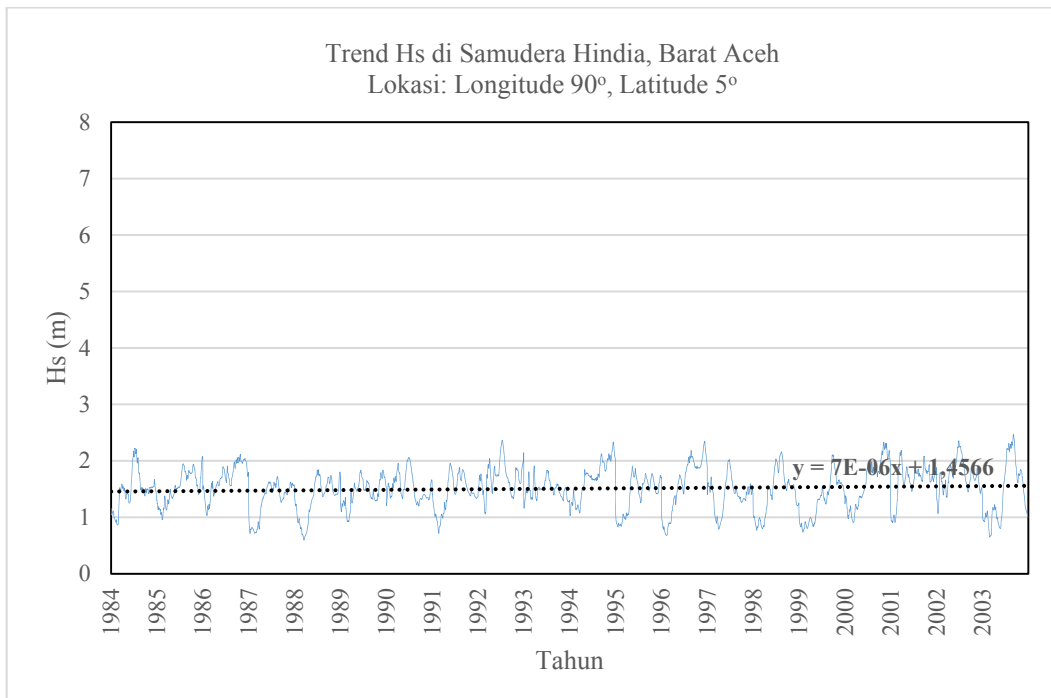
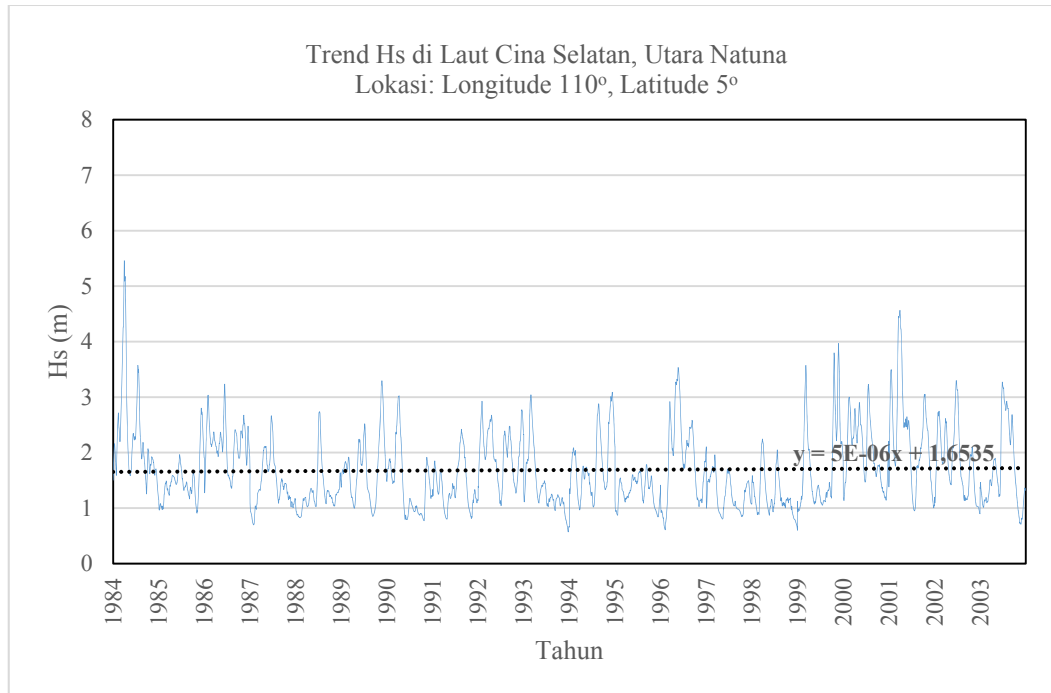


Gambar 15. Peta rata-rata Hs pada bulan November selama 1984-2003

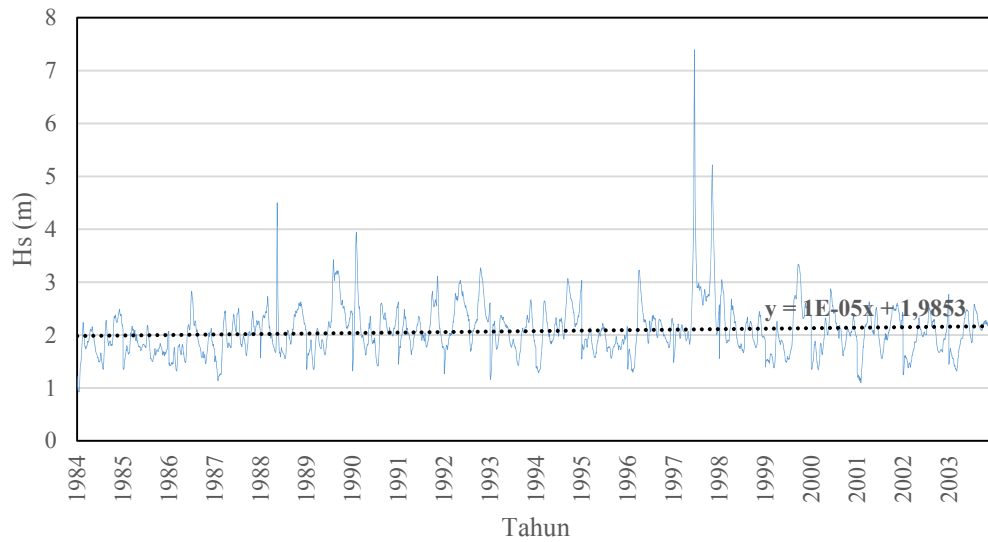


Gambar 16. Peta rata-rata Hs pada bulan Desember selama 1984-2003

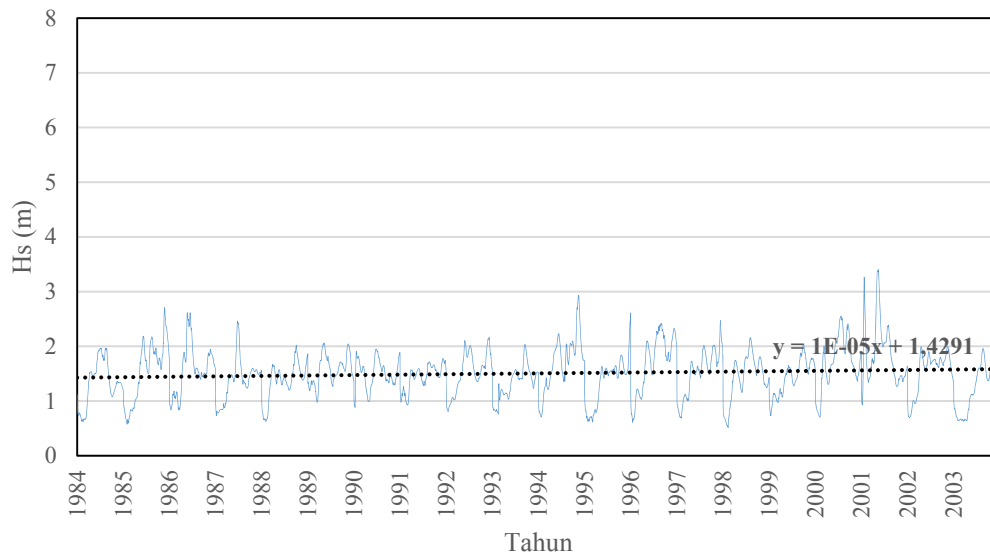
1. Trend Hs pada bulan Januari



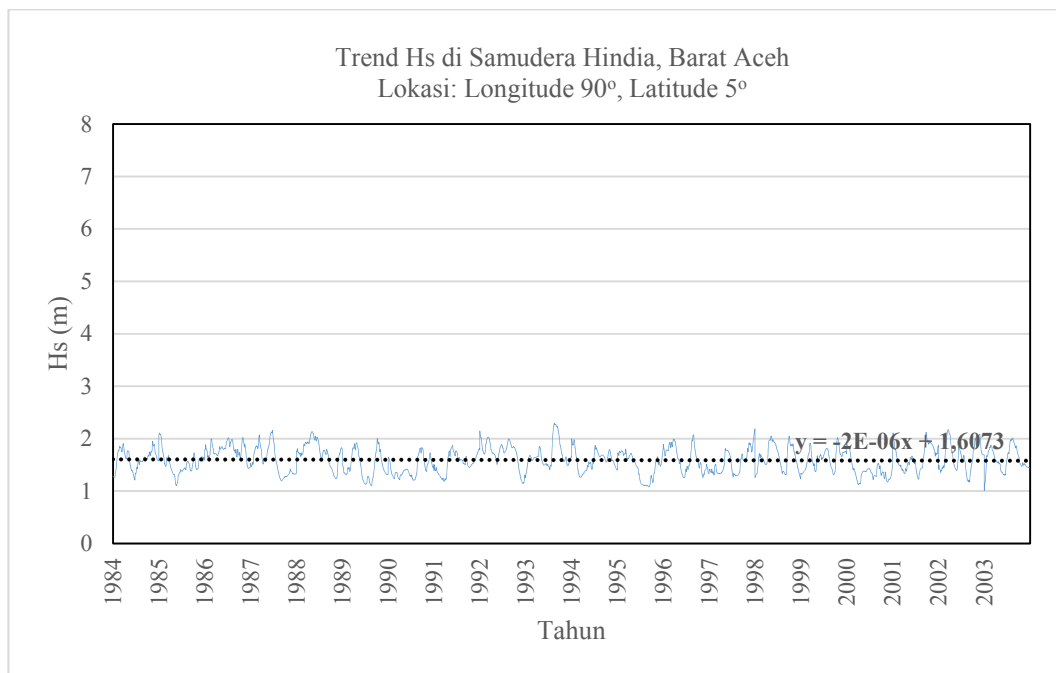
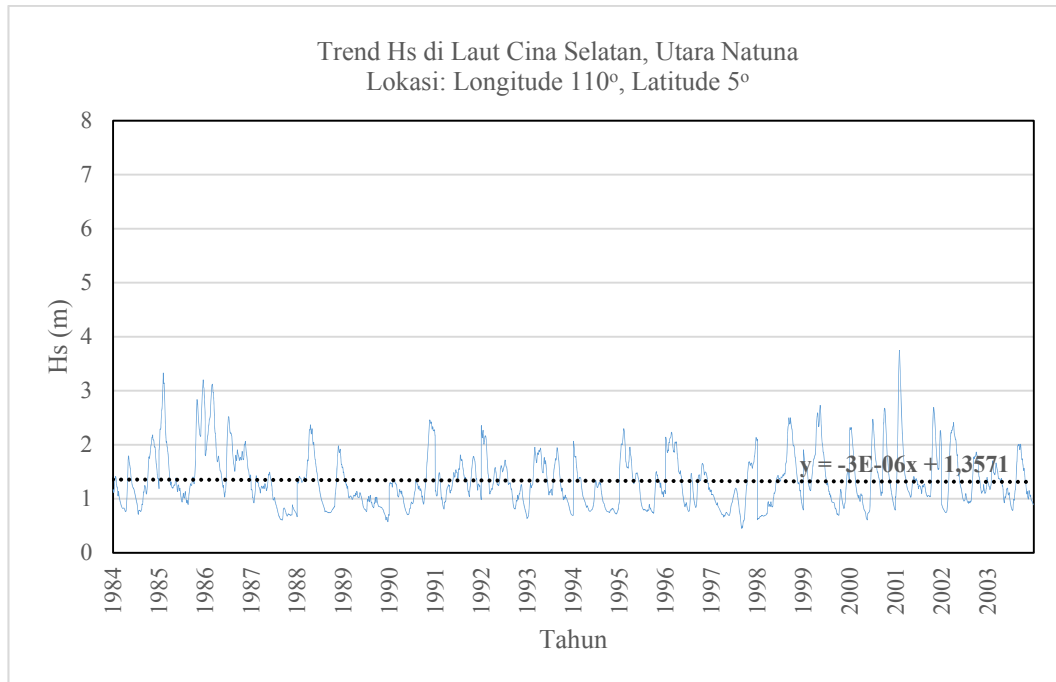
Trend Hs di Samudera Pasifik, Utara Papua
Lokasi: Longitude 140°, Latitude 10°



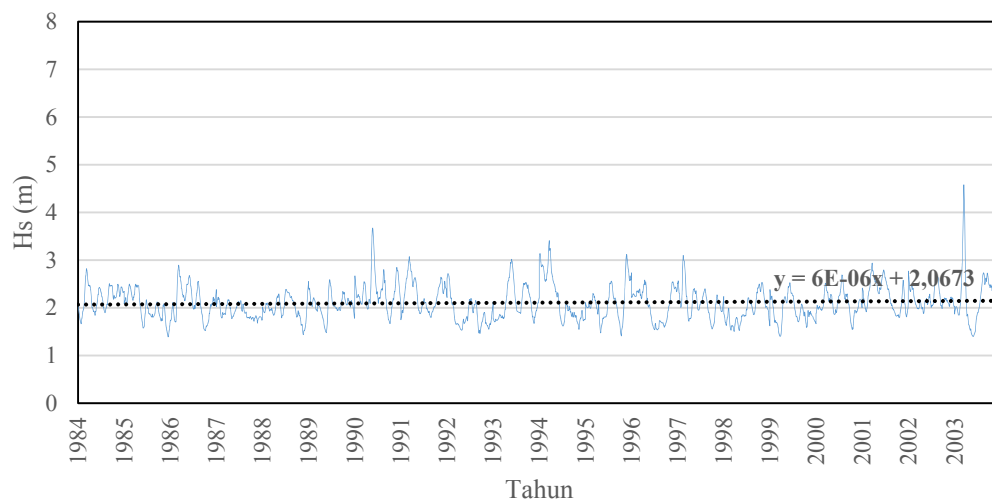
Trend Hs di Samudera Hindia, Selatan Yogyakarta
Lokasi: Longitude 110°, Latitude -10°



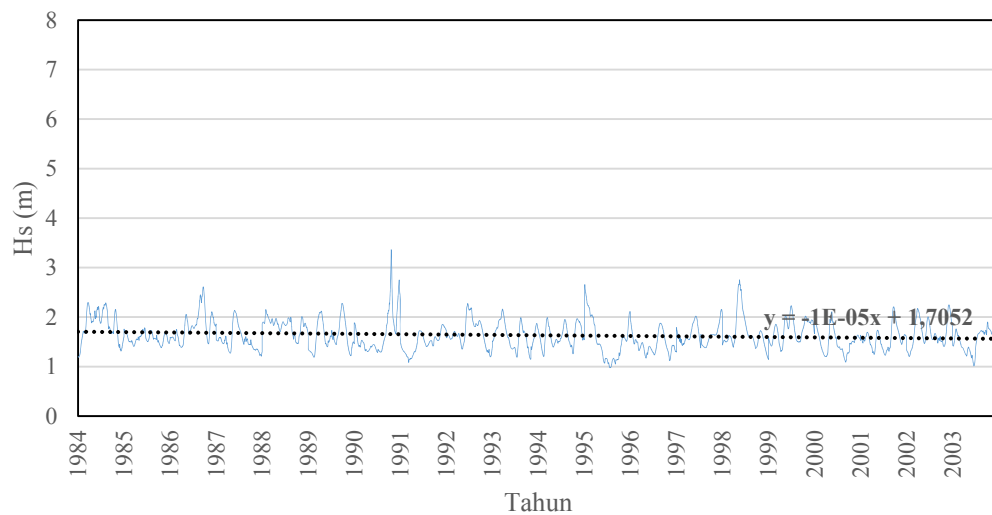
2. Trend Hs pada bulan Februari



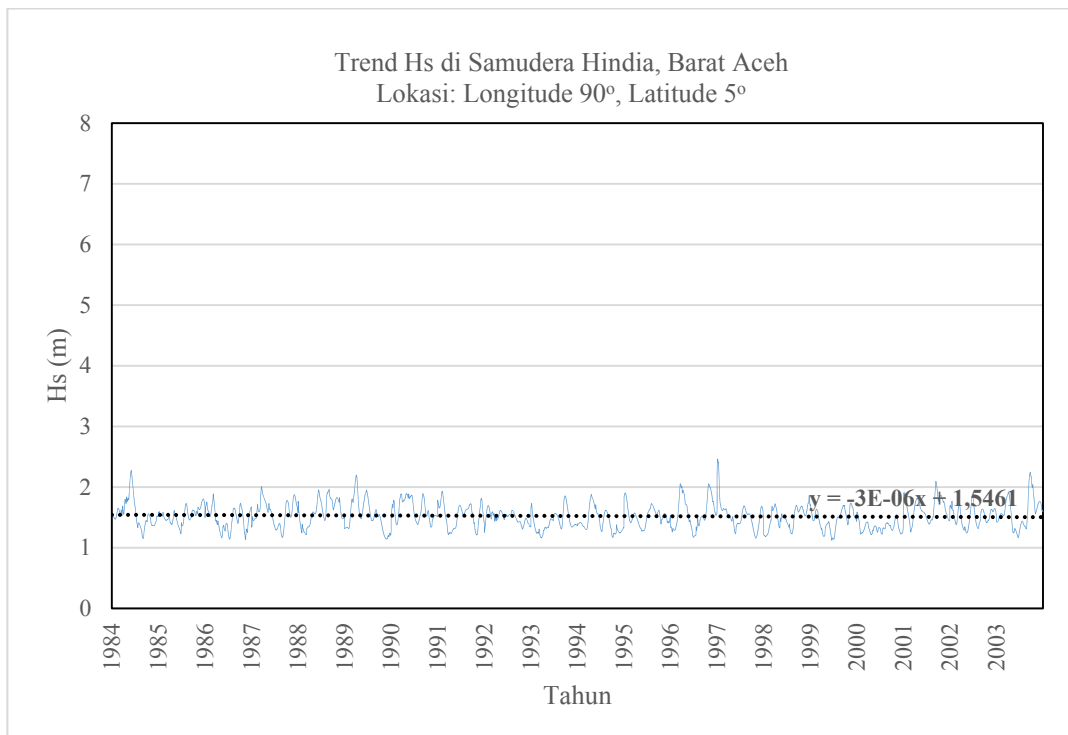
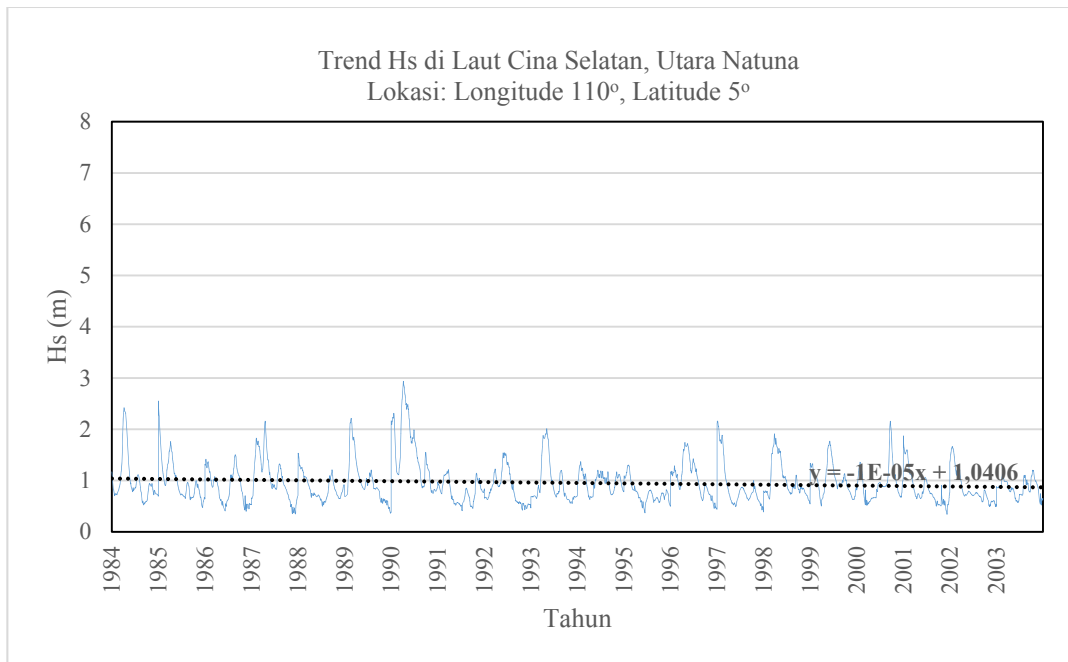
Trend Hs di Samudera Pasifik, Utara Papua
Lokasi: Longitude 140°, Latitude 10°



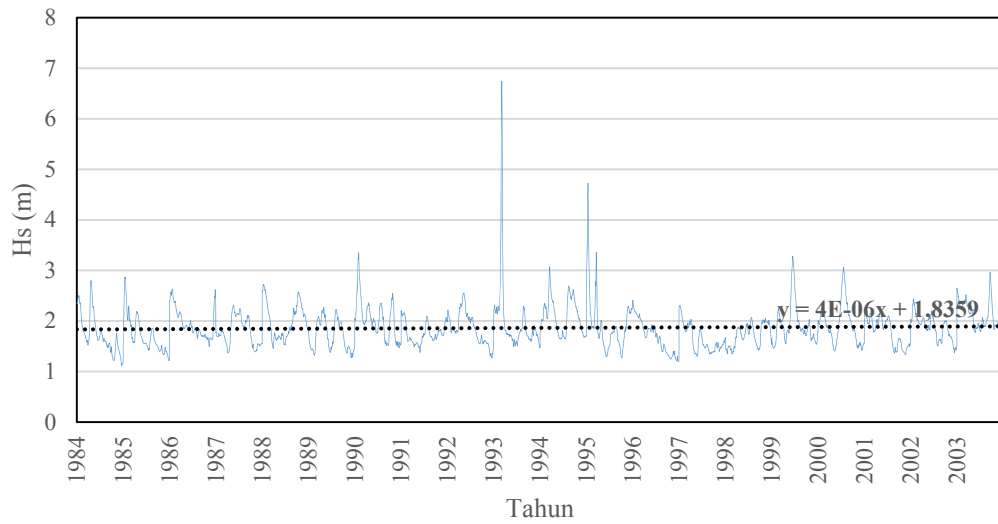
Trend Hs di Samudera Hindia, Selatan Yogyakarta
Lokasi: Longitude 110°, Latitude -10°



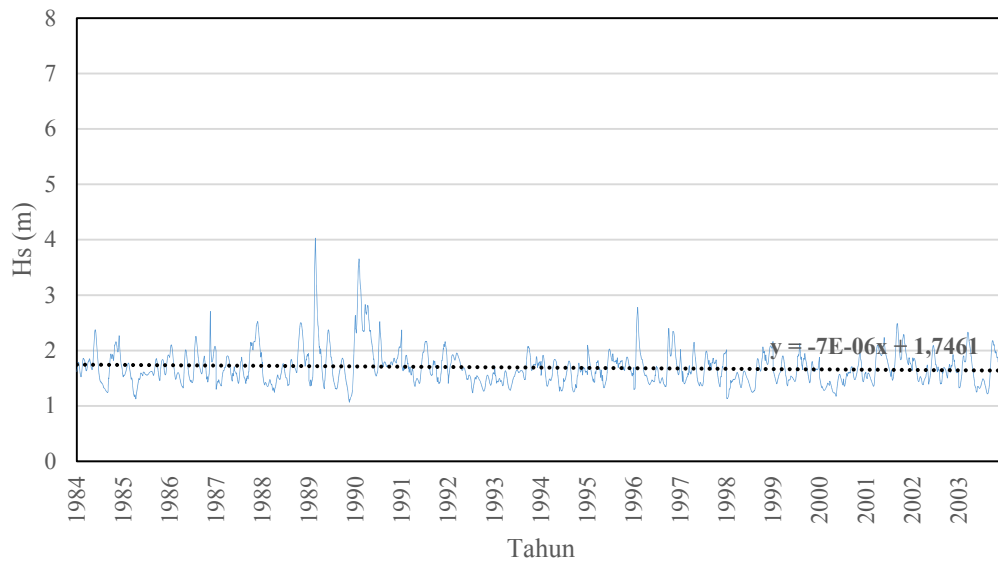
3. Trend Hs pada bulan Maret



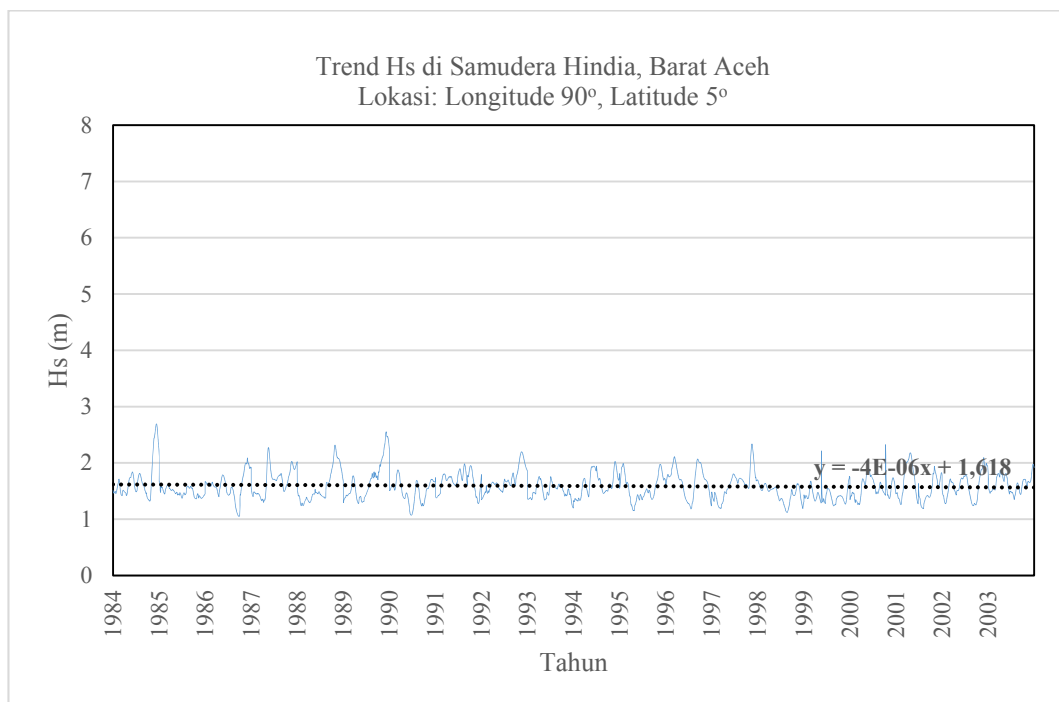
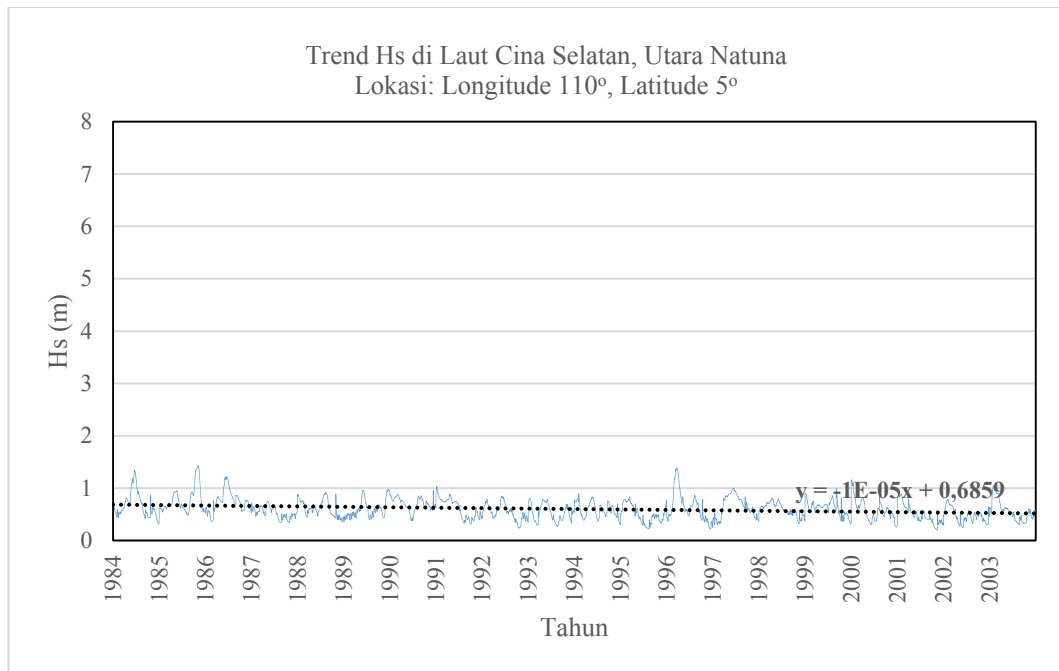
Trend Hs di Samudera Pasifik, Utara Papua
Lokasi: Longitude 140°, Latitude 10°



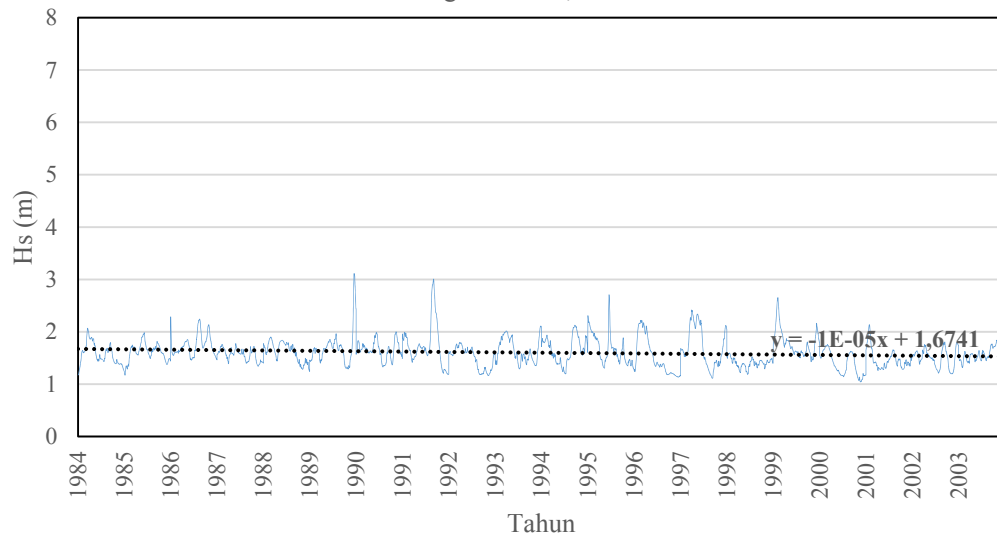
Trend Hs di Samudera Hindia, Selatan Yogyakarta
Lokasi: Longitude 110°, Latitude -10°



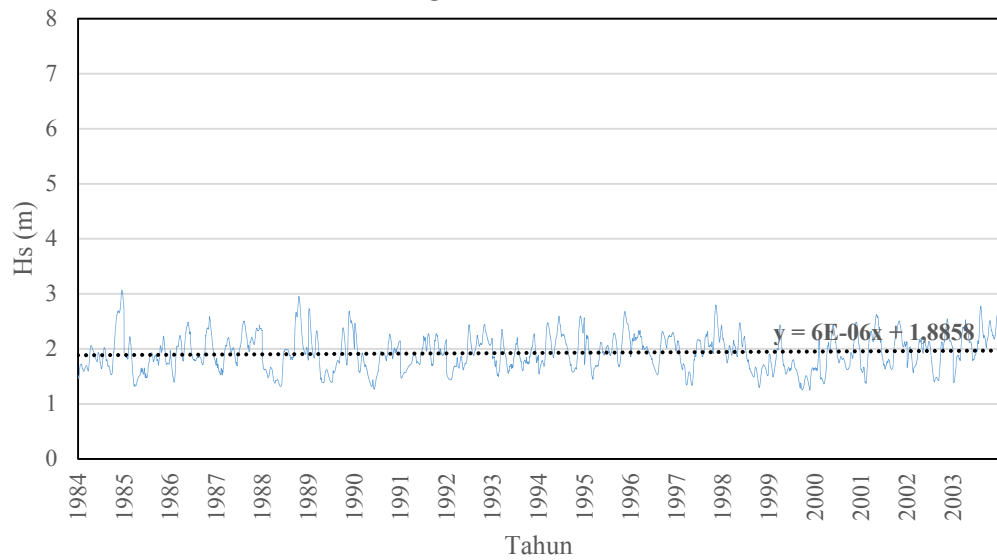
4. Trend Hs pada bulan April



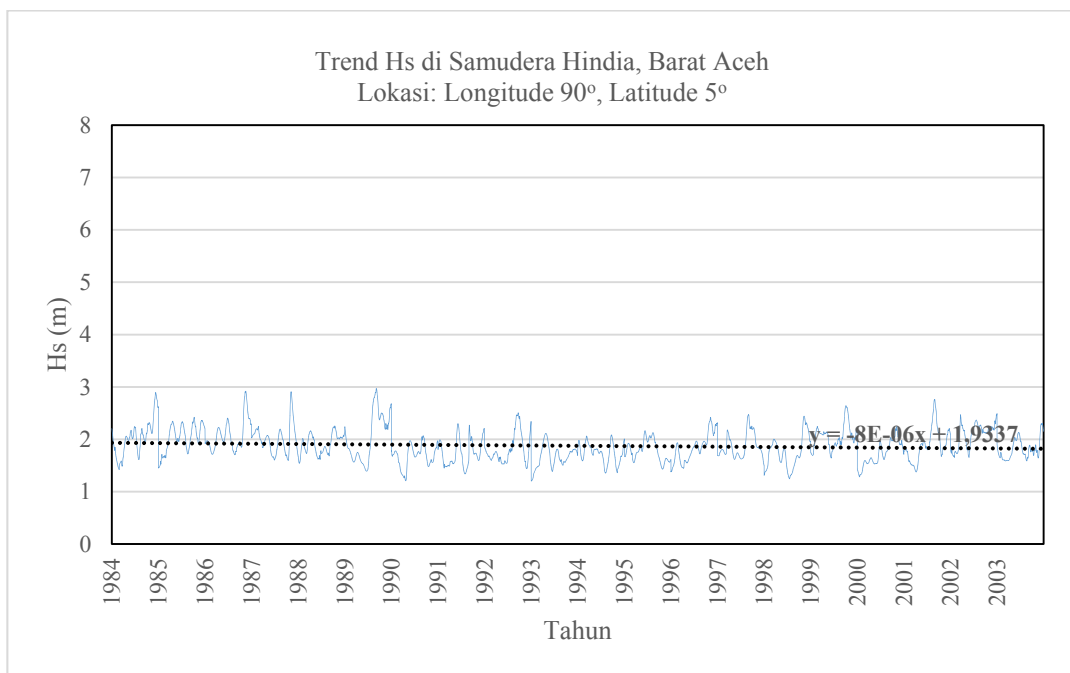
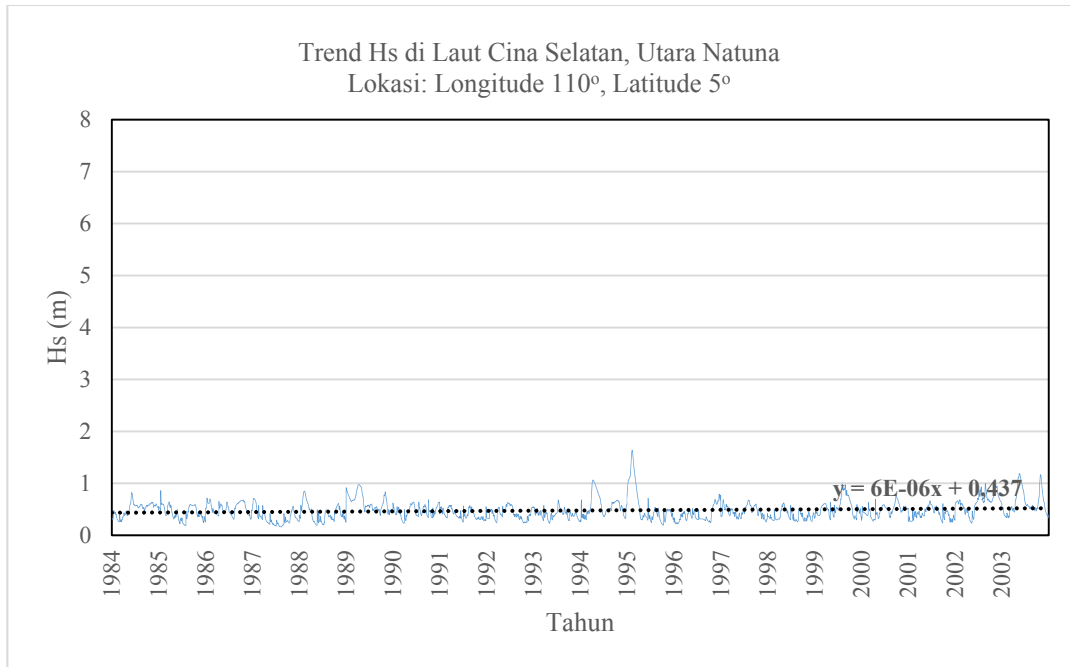
Trend Hs di Samudera Pasifik, Utara Papua
Lokasi: Longitude 140°, Latitude 10°



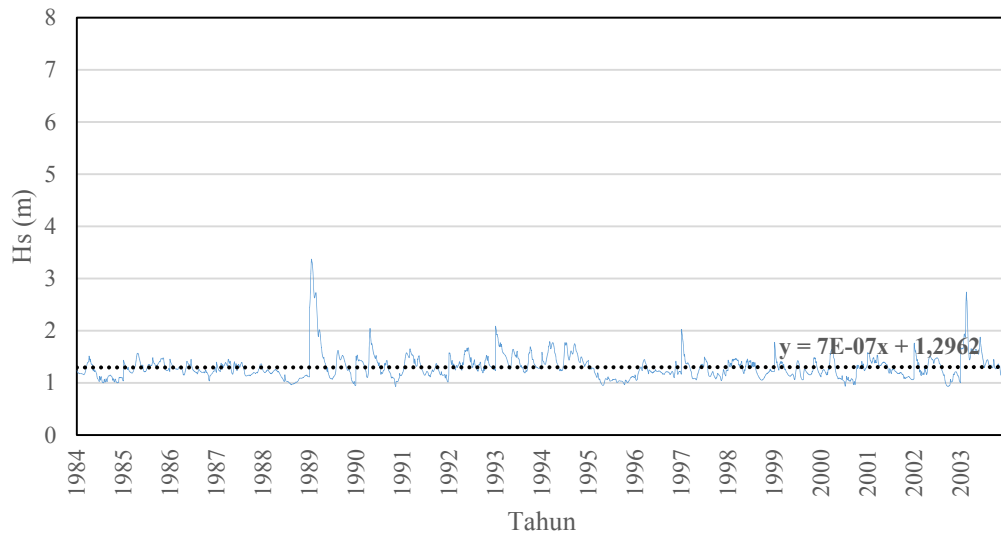
Trend Hs di Samudera Hindia, Selatan Yogyakarta
Lokasi: Longitude 110°, Latitude -10°



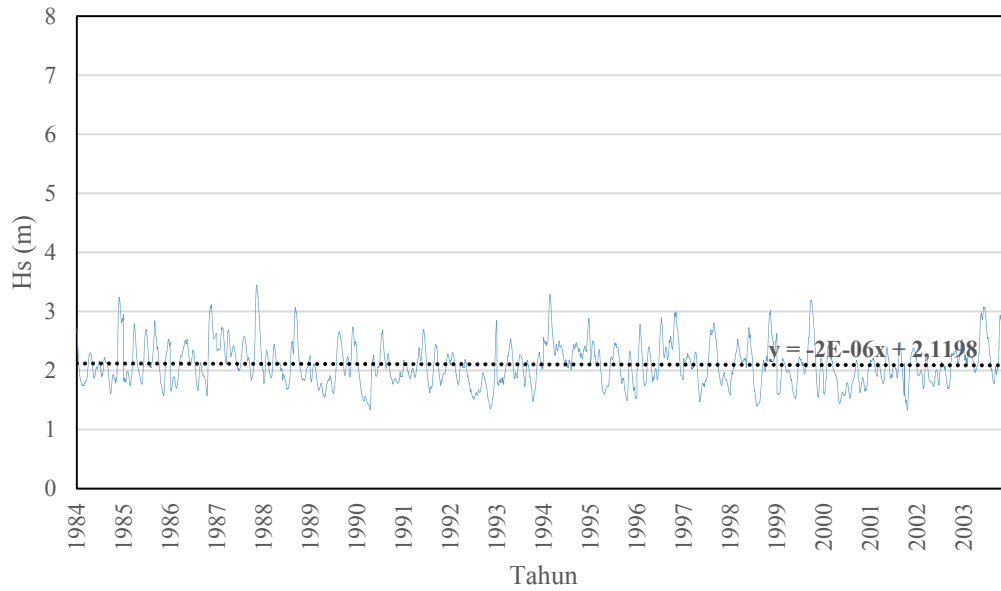
5. Trend Hs pada bulan Mei



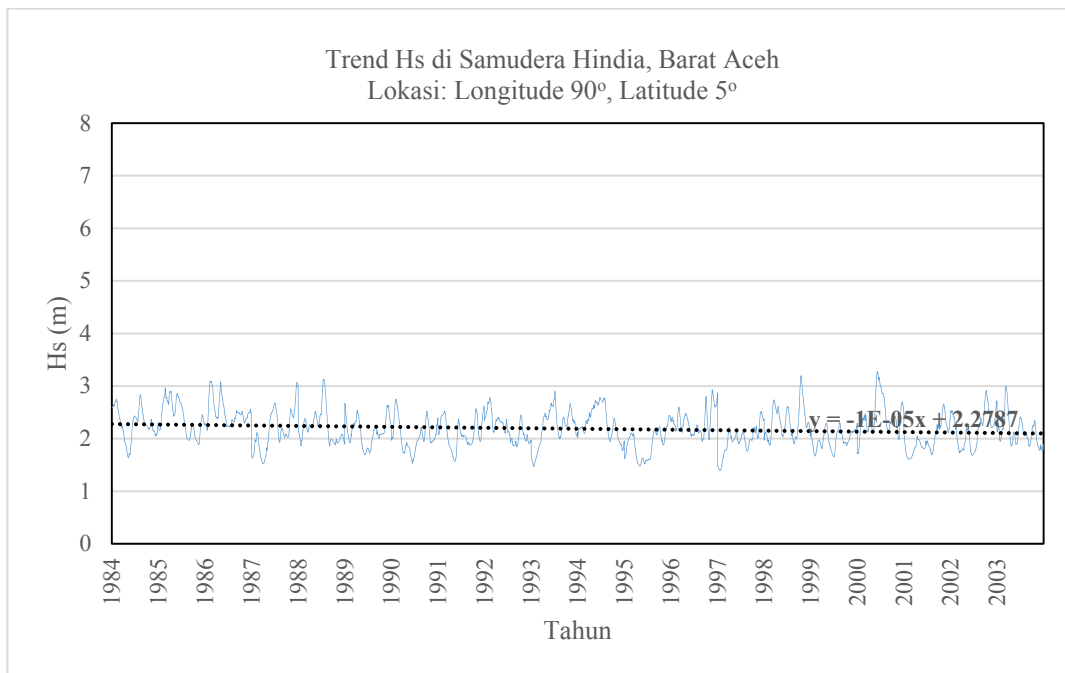
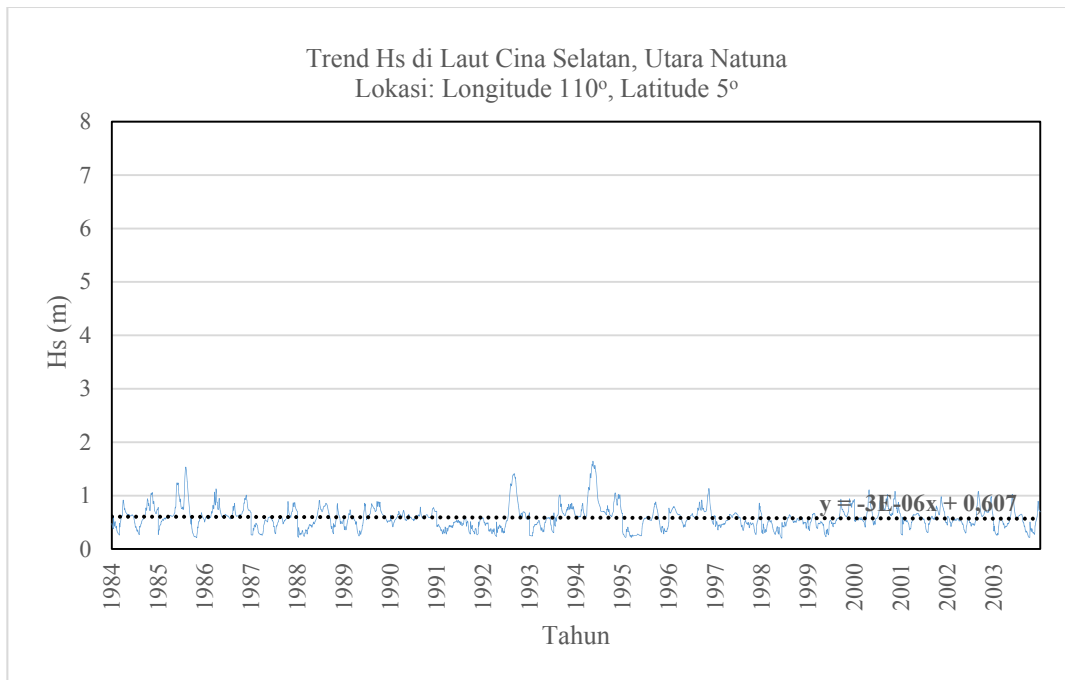
Trend Hs di Samudera Pasifik, Utara Papua
Lokasi: Longitude 140°, Latitude 10°



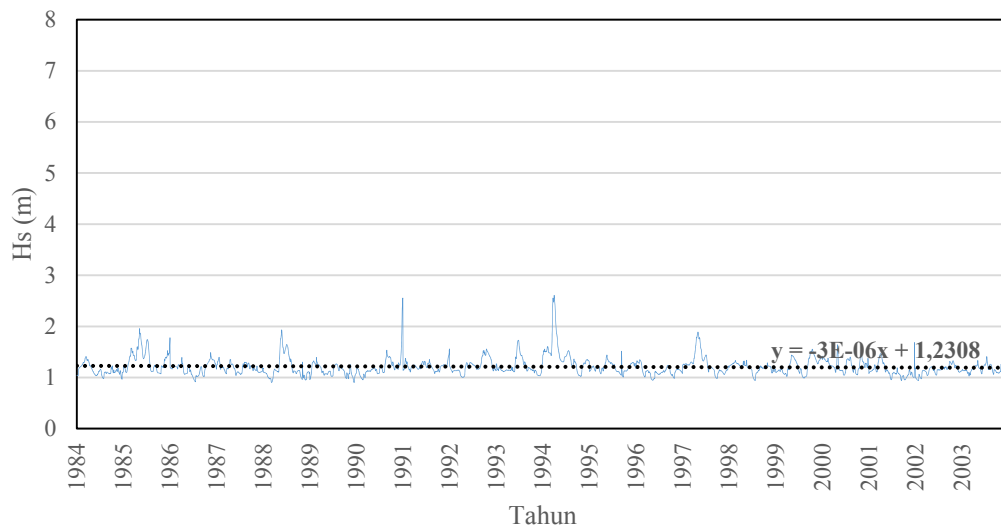
Trend Hs di Samudera Hindia, Selatan Yogyakarta
Lokasi: Longitude 110°, Latitude -10°



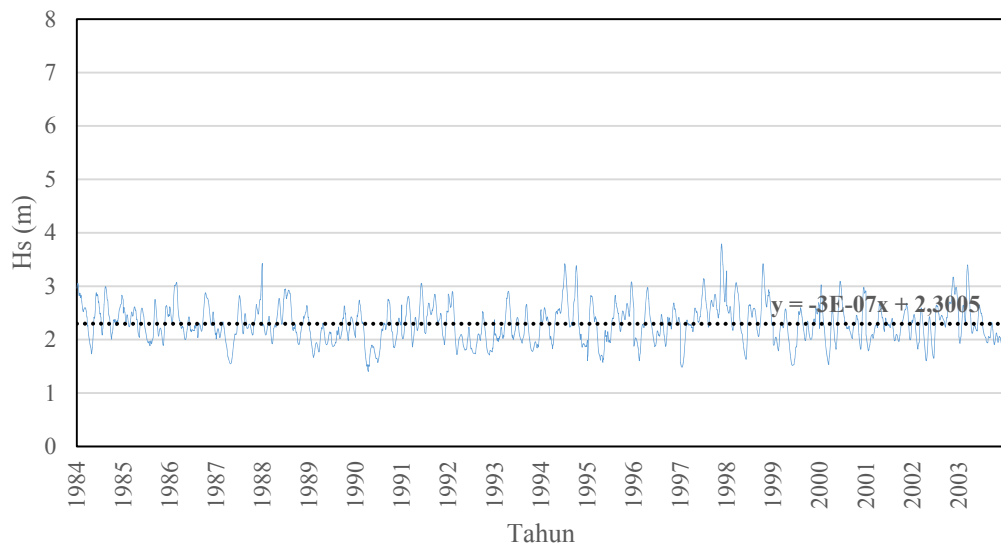
6. Trend Hs pada bulan Juni



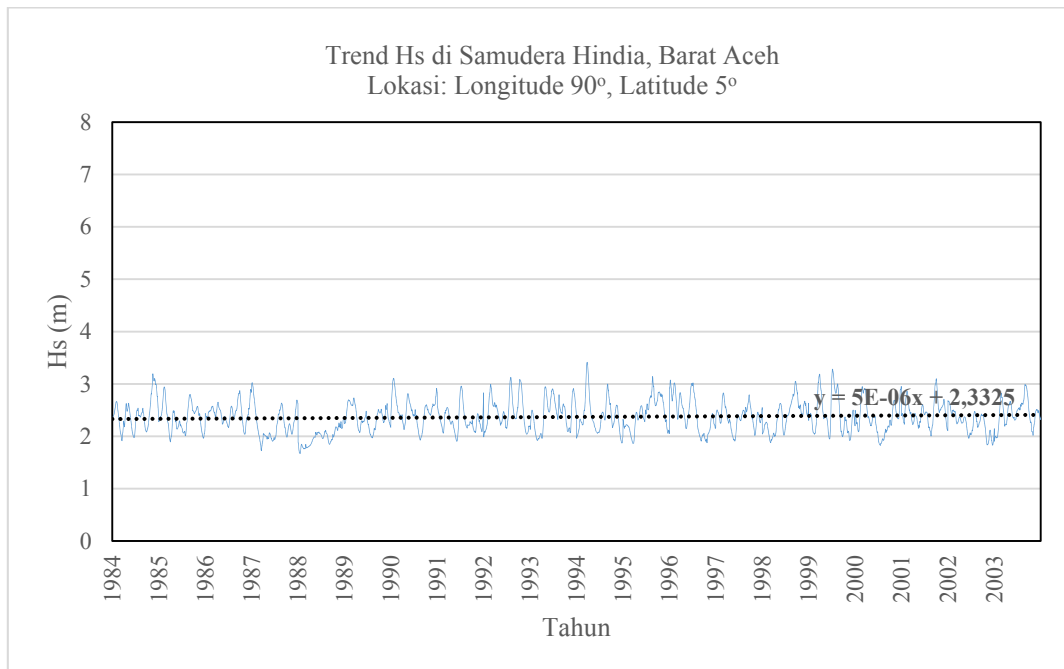
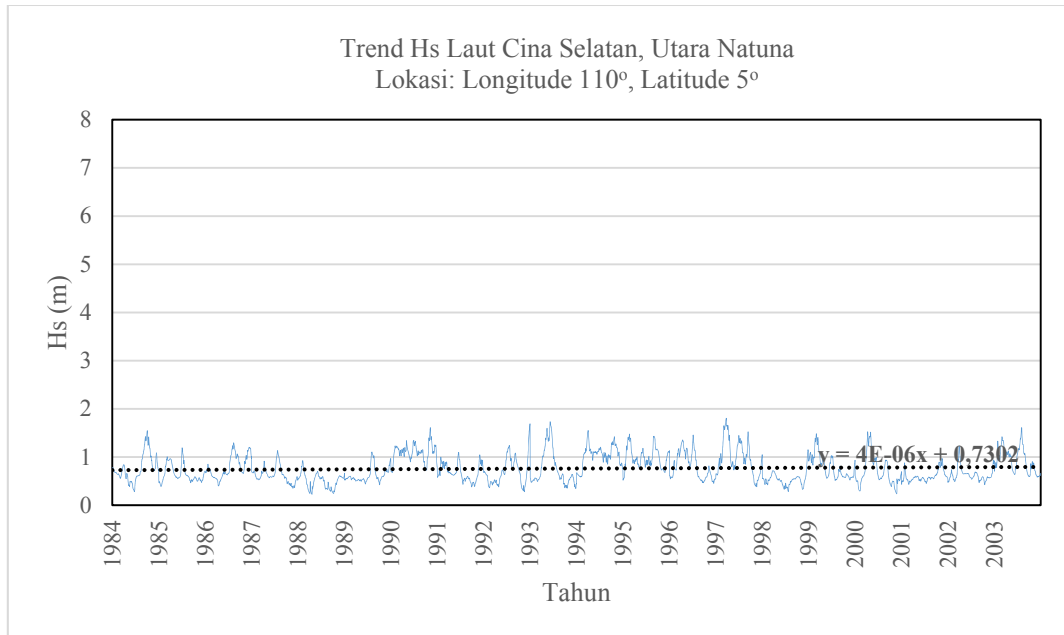
Trend Hs di Samudera Pasifik, Utara Papua
Lokasi: Longitude 140°, Latitude 10°



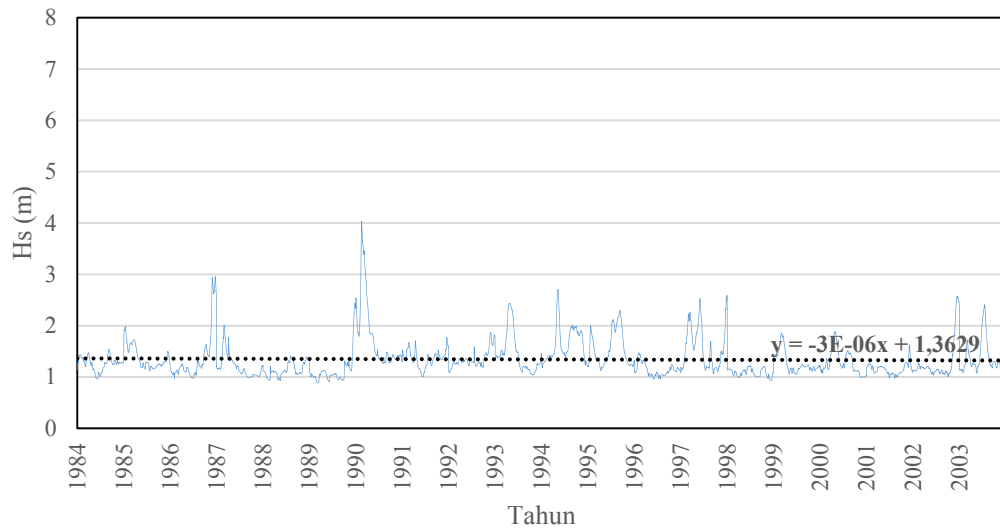
Trend Hs di Samudera Hindia, Selatan Yogyakarta
Lokasi: Longitude 110°, Latitude -10°



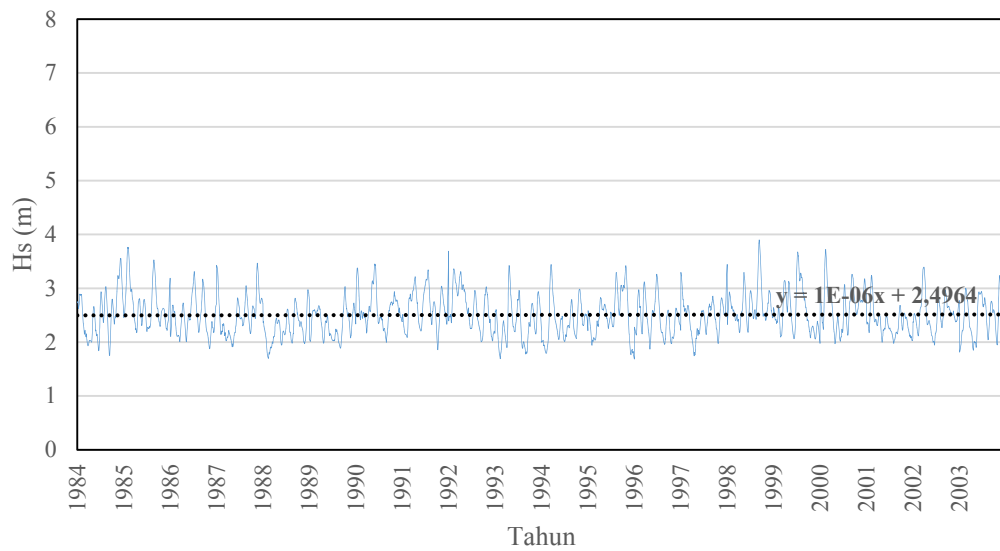
7. Trend Hs pada bulan Juli



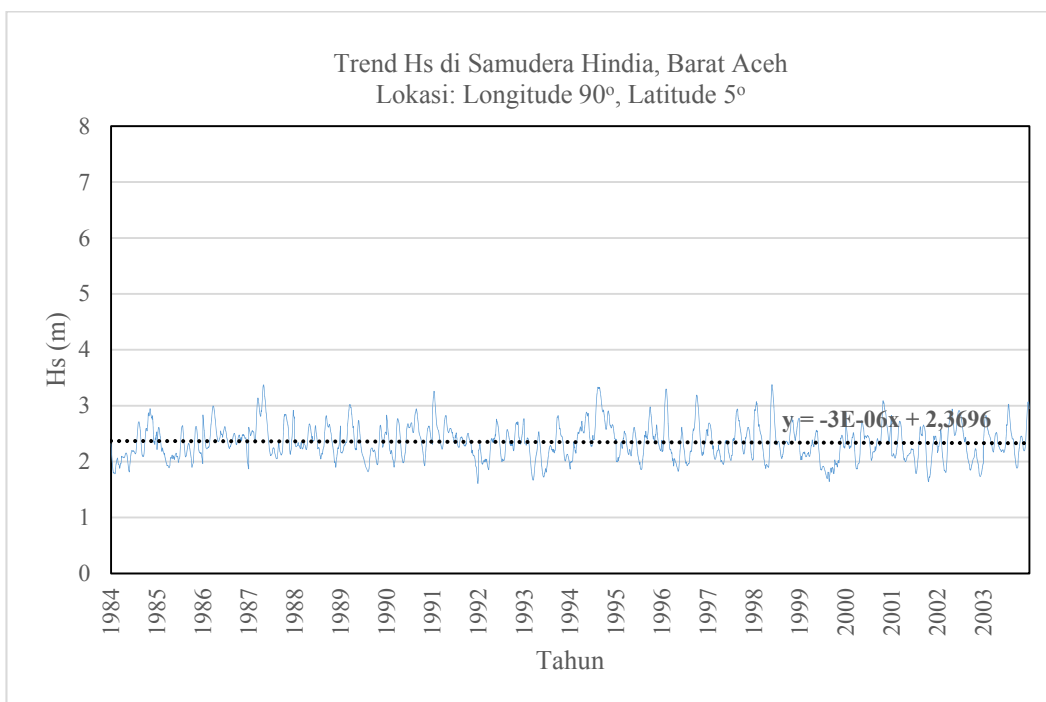
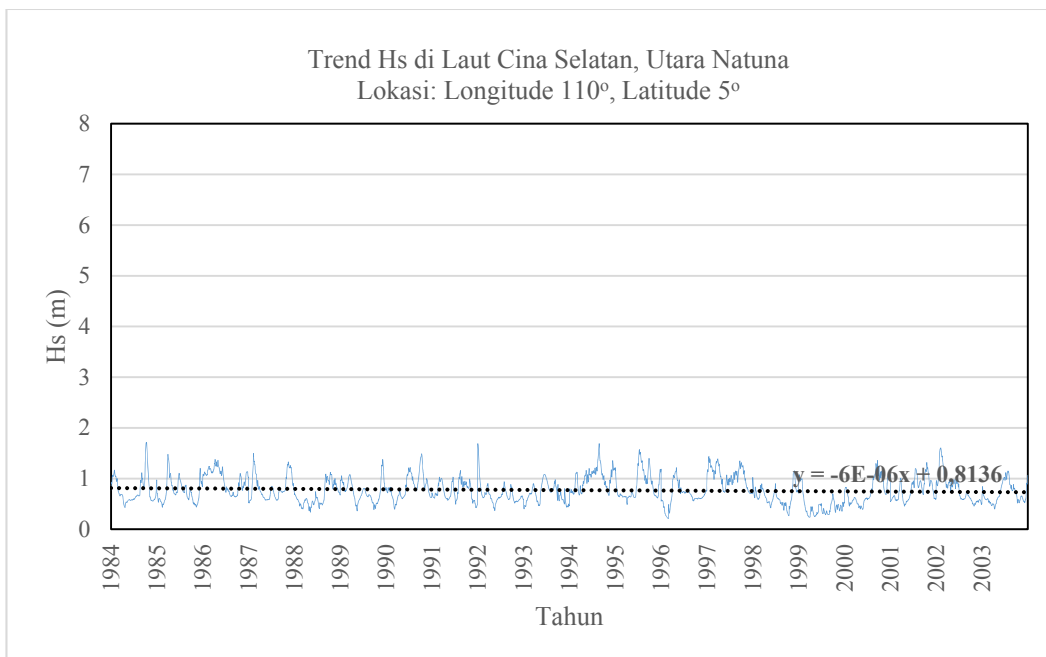
Trend Hs di Samudera Pasifik, Utara Papua
Lokasi: Longitude 140°, Latitude 10°



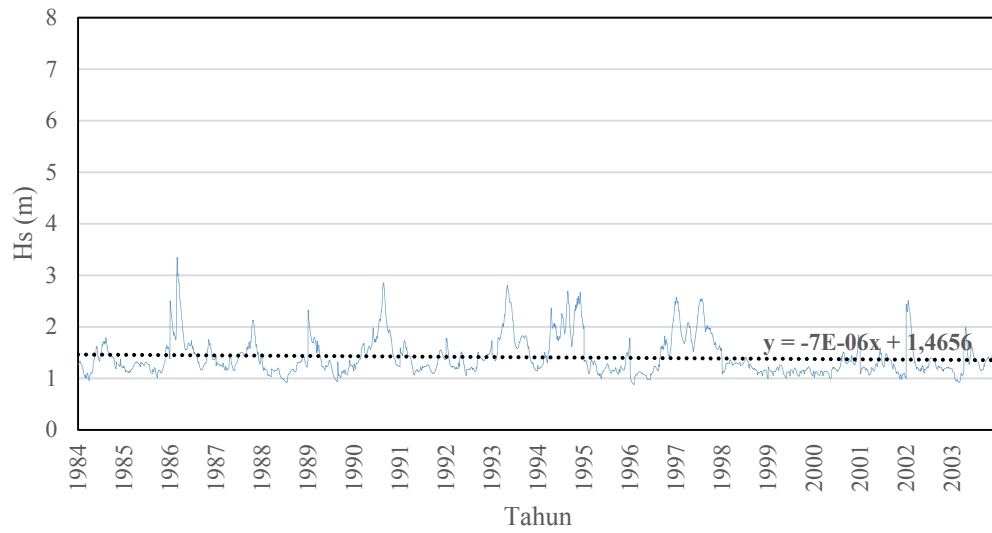
Trend Hs Samudera Hindia, Selatan Yogyakarta
Lokasi: Longitude 110°, Latitude -10°



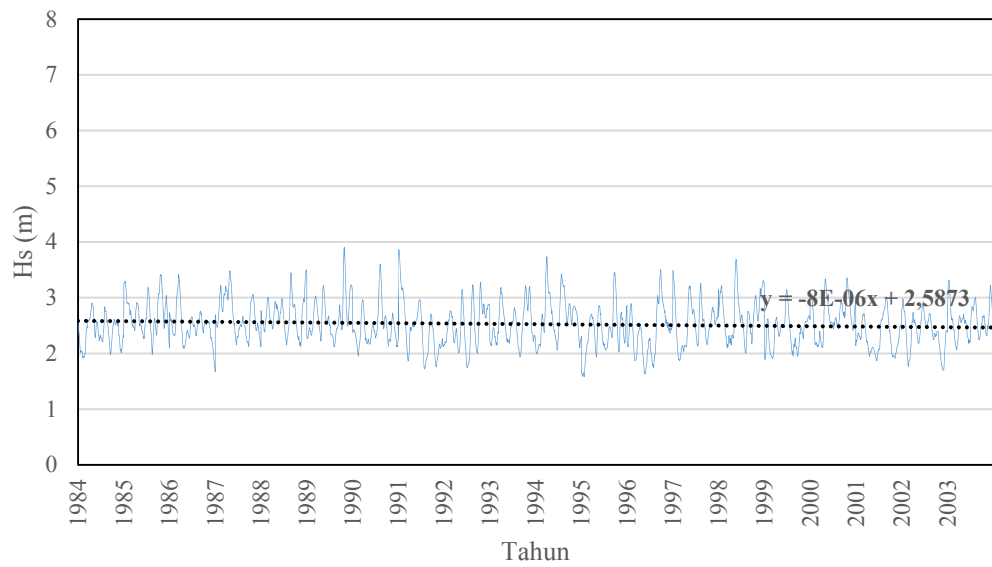
8. Trend Hs pada bulan Agustus



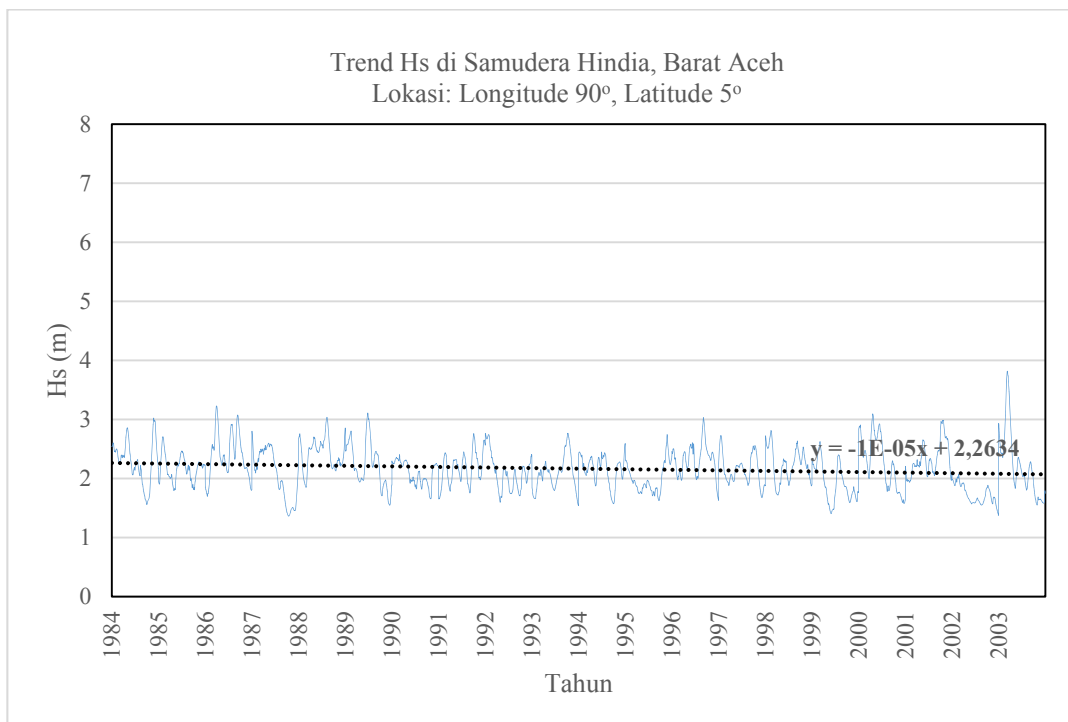
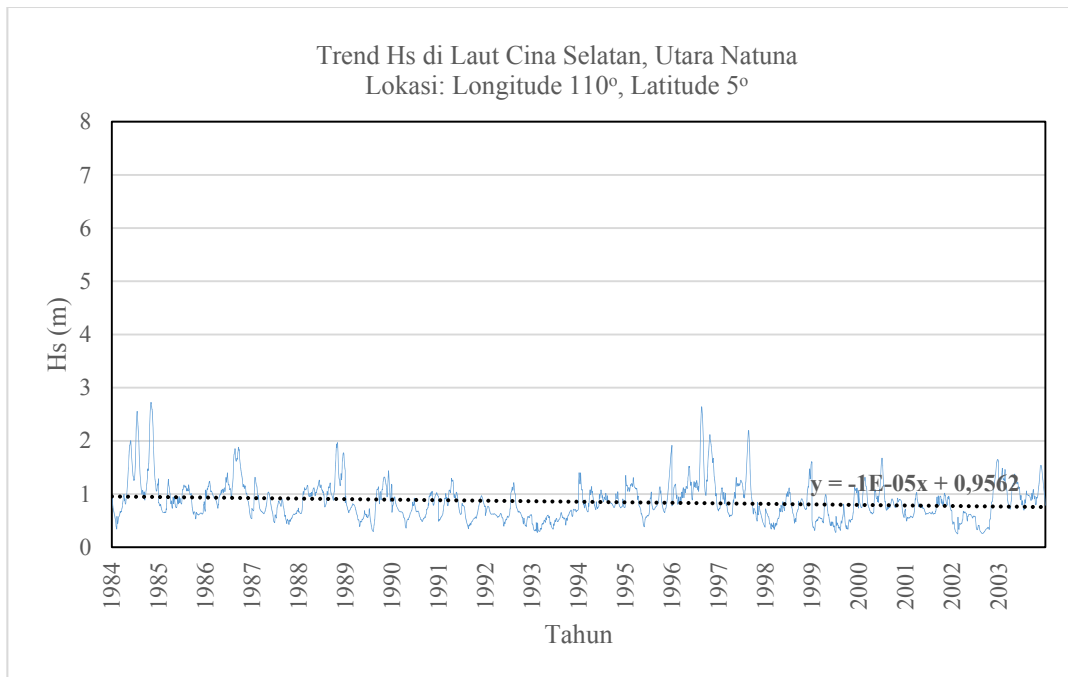
Trend Hs di Samudera Pasifik, Utara Papua
Lokasi: Longitude 140°, Latitude 10°



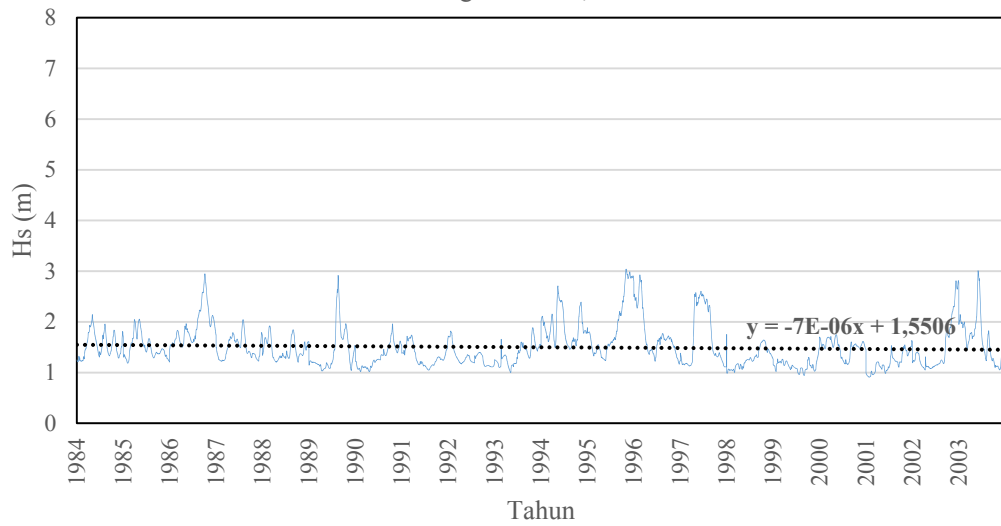
Trend Hs di Samudera Hindia, Selatan Yogyakarta
Lokasi: Longitude 110°, Latitude -10°



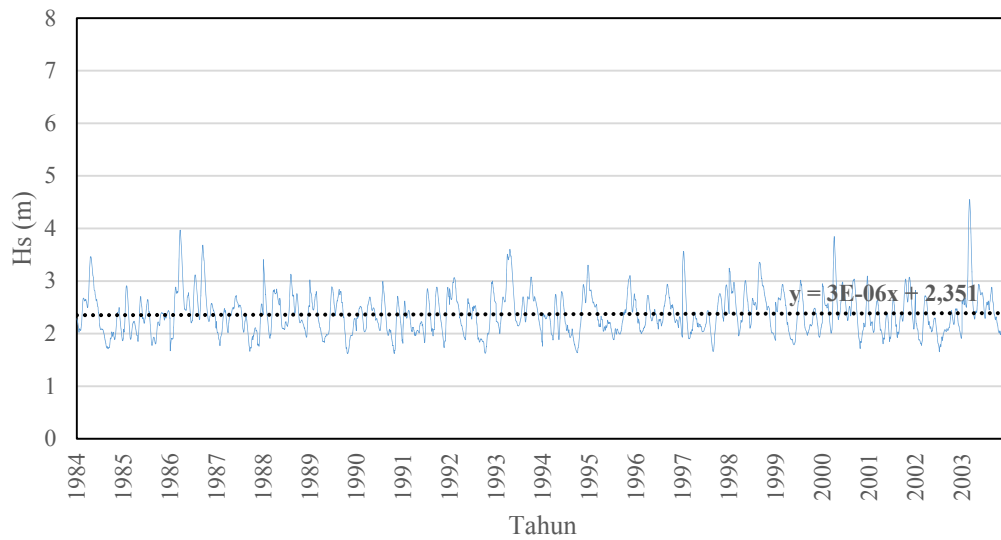
9. Trend Hs pada bulan September



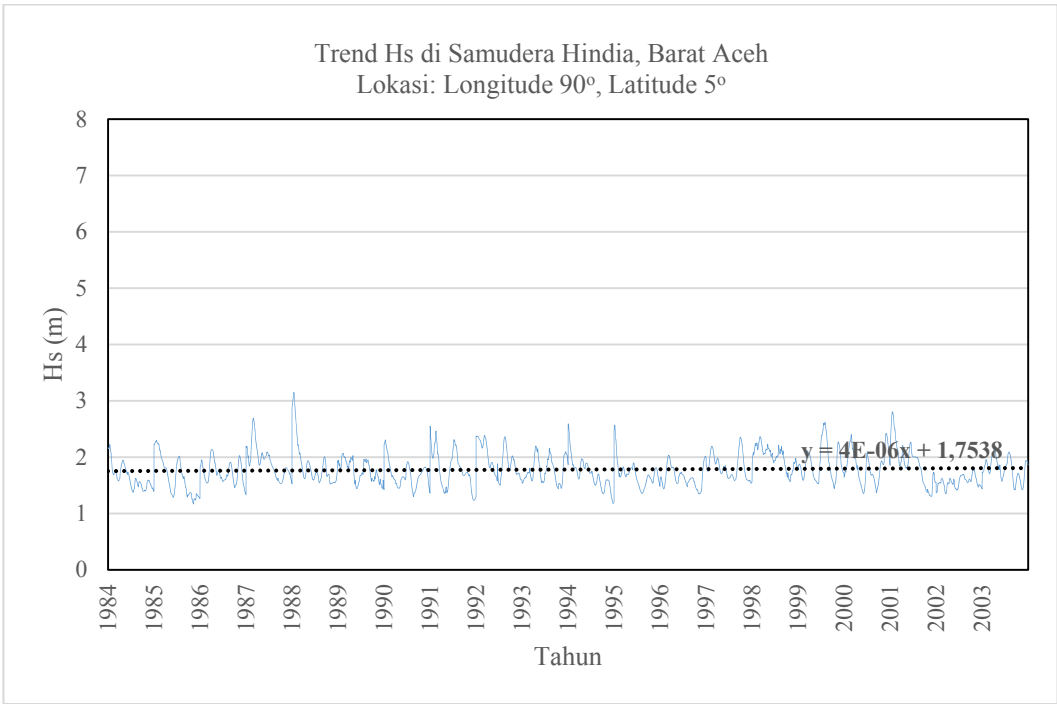
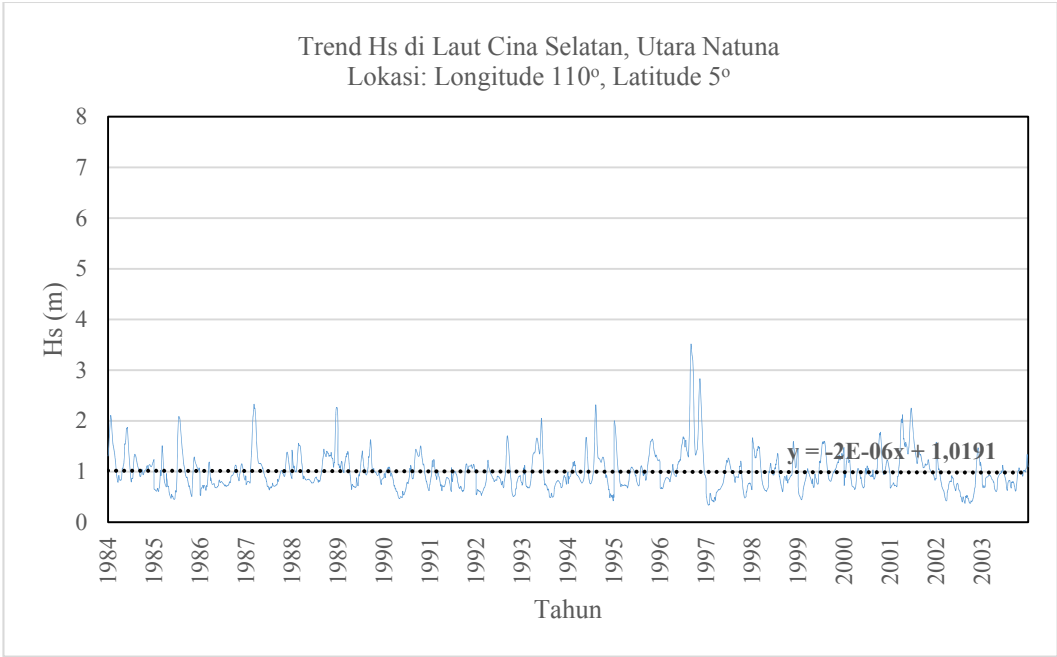
Trend Hs di Samudera Pasifik, Utara Papua
Lokasi: Longitude 140°, Latitude 10°



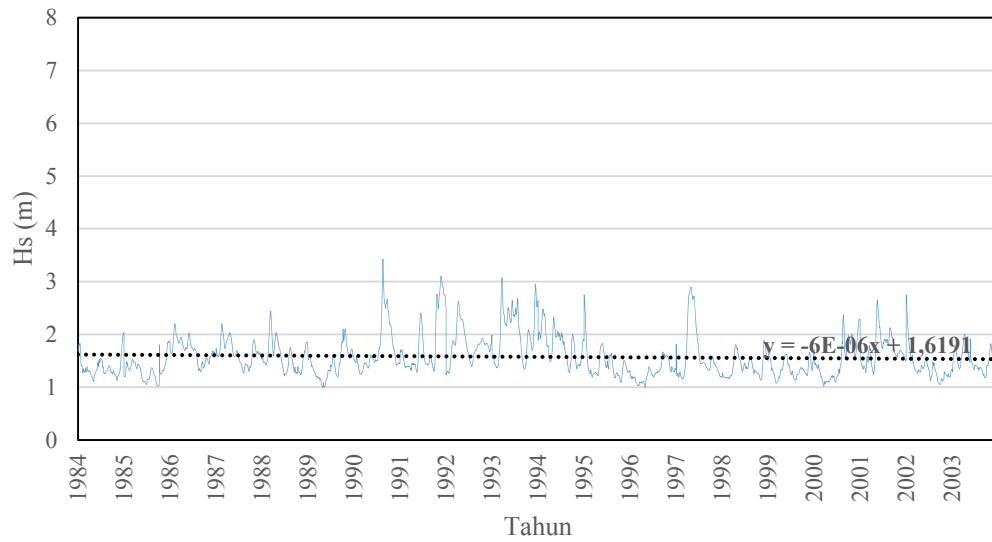
Trend Hs di Samudera Hindia, Selatan Yogyakarta
Lokasi: Longitude 110°, Latitude -10°



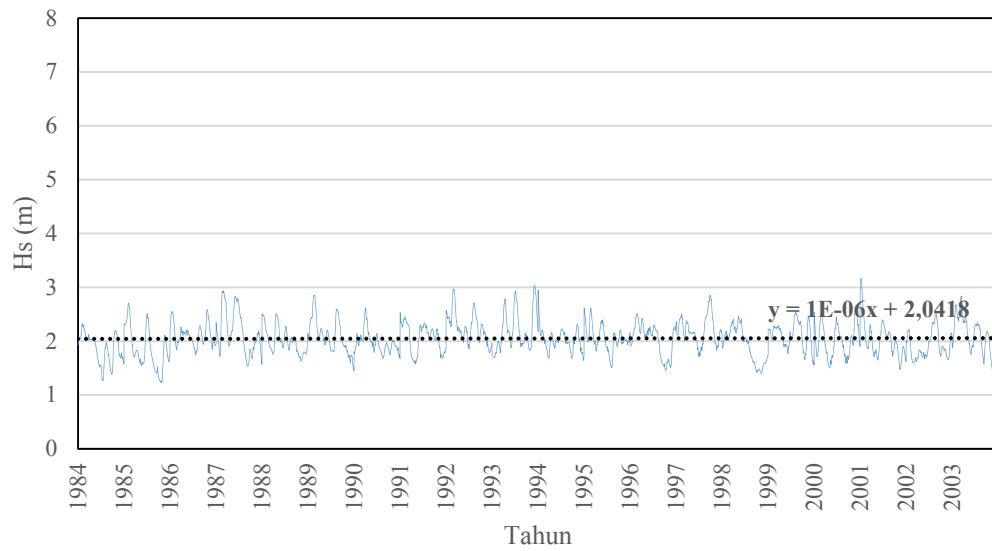
10. Trend Hs pada bulan Oktober



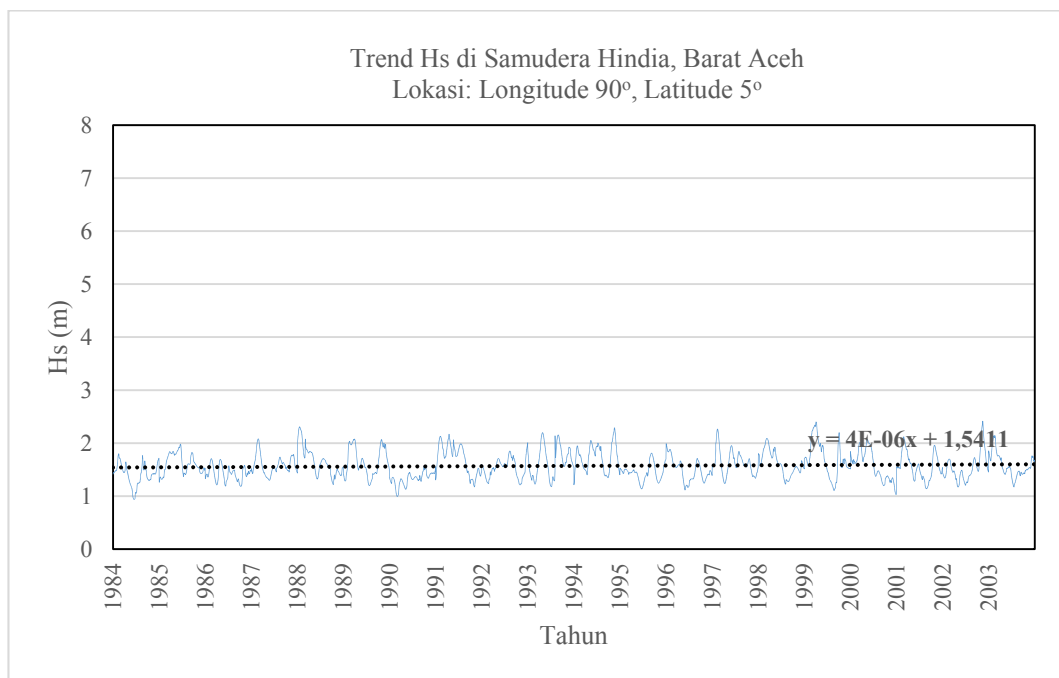
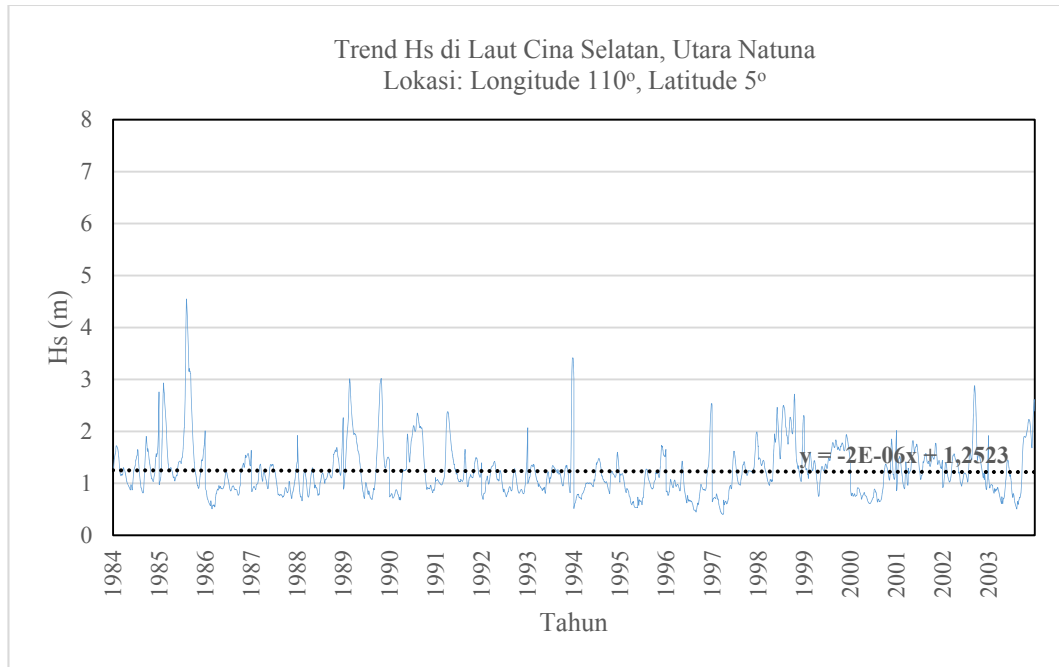
Trend Hs di Samudera Pasifik, Utara Papua
Lokasi: Longitude 140°, Latitude 10°



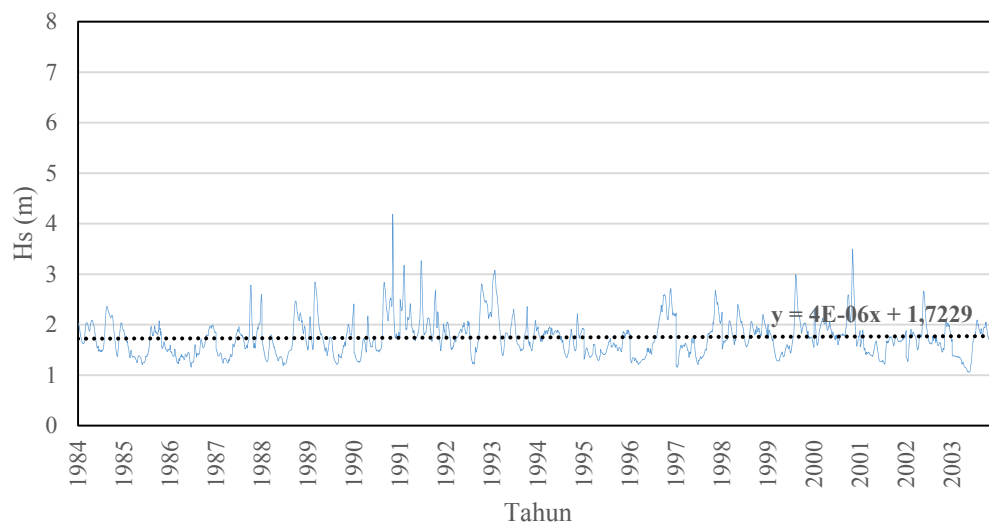
Trend Hs di Samudera Hindia, Selatan Yogyakarta
Lokasi: Longitude 110°, Latitude -10°



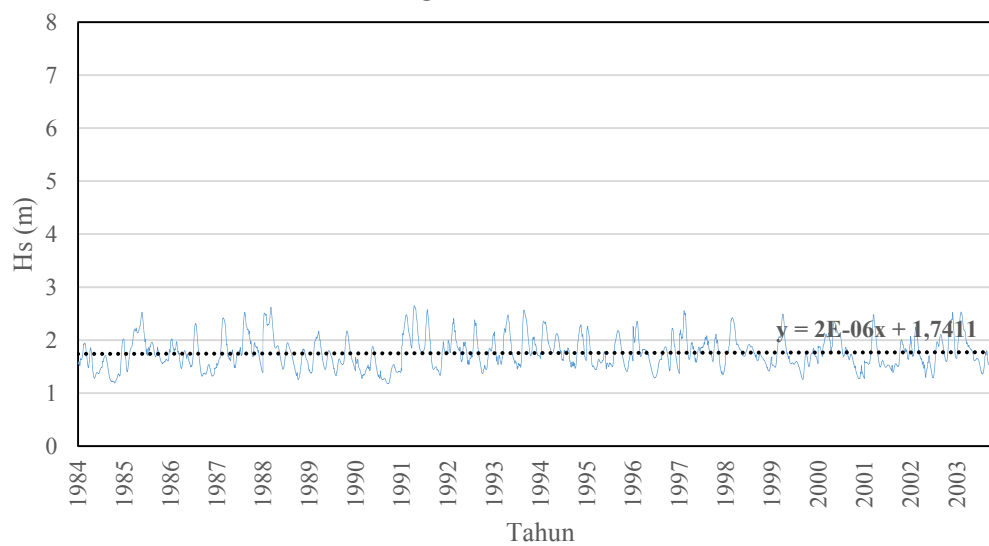
11. Trend Hs pada bulan November



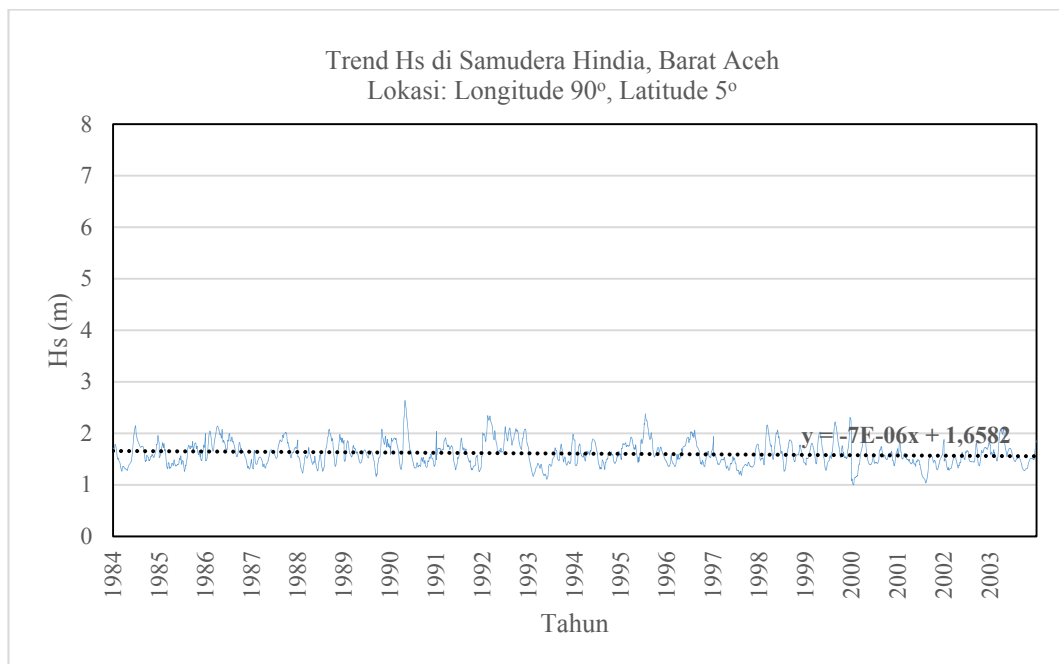
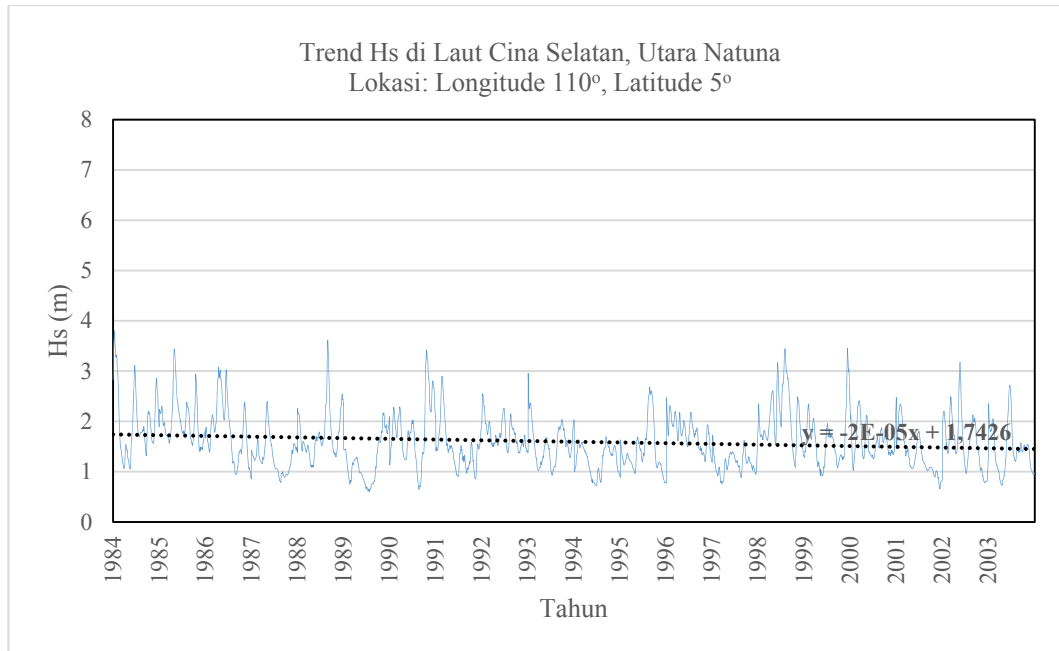
Trend Hs di Samudera Pasifik, Utara Papua
Lokasi: Longitude 140°, Latitude 10°



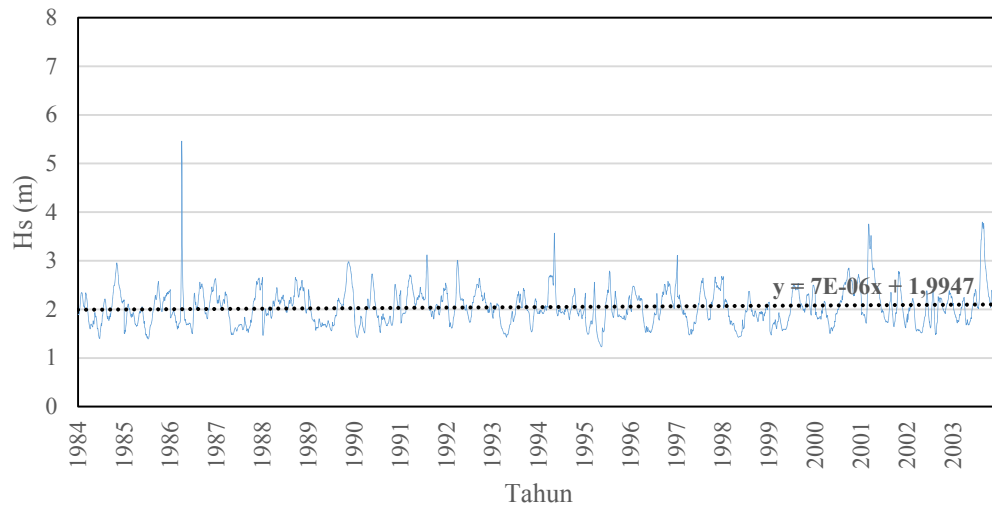
Trend Hs di Samudera Hindia, Selatan Yogyakarta
Lokasi: Longitude 110°, Latitude -10°



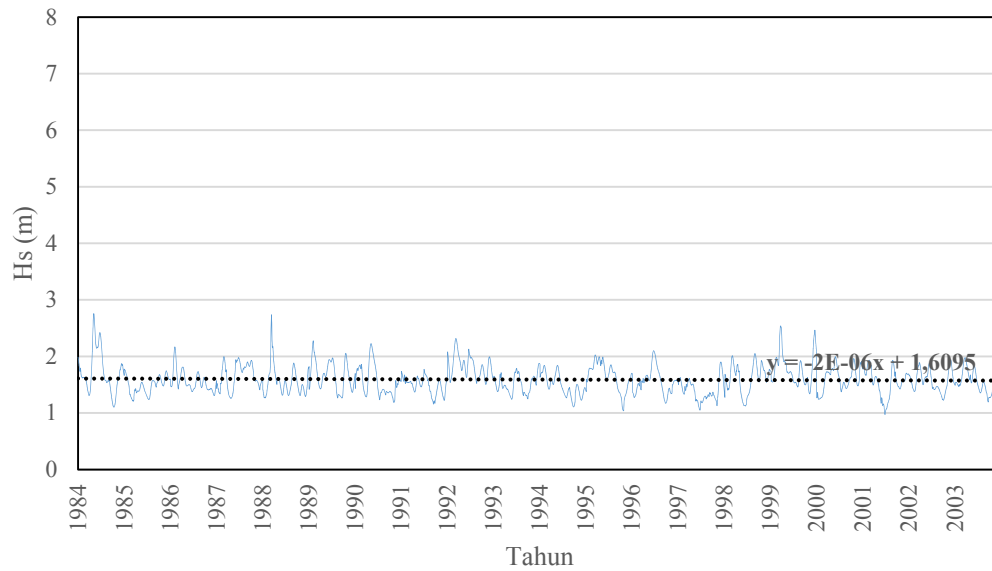
12. Trend Hs pada bulan Desember



Trend Hs di Samudera Pasifik, Utara Papua
Lokasi: Longitude 140°, Latitude 10°



Trend Hs di Samudera Hindia, Selatan Yogyakarta
Lokasi: Longitude 110°, Latitude -10°



BIODATA PENULIS



Penulis bernama Normalita Sari yang merupakan anak sulung dari dua bersaudara ini lahir di Gresik pada 14 November 1992. Penulis telah menempuh pendidikan formal di TK LKMD Sukorame Gresik, SD Muhammadiyah 1 Kebomas, SMP Muhammadiyah 4 Kebomas, dan SMA Muhammadiyah 1 Gresik. Setelah lulus dari SMA pada tahun 2010, kemudian penulis melanjutkan pendidikan di Institut Teknologi Sepuluh Nopember pada tahun 2010 di Jurusan Teknik Kelautan FTK - ITS Surabaya dengan NRP. 4310 100 025. Selama menjadi mahasiswa, penulis pernah aktif di Unit Kegiatan Mahasiswa Maritime Challenge dan Lembaga Dakwah Jurusan Bahrul Ilmi serta aktif di berbagai seminar maupun workshop yang diadakan oleh kampus maupun instansi lain. Penulis juga pernah menjalani kerja praktek di PT. Lintech Duta Pratama pada tahun 2013.